

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CLEIDSON VENTURINE

**A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESENVOLVIMENTO
DA TERMODINÂMICA: A HISTÓRIA DA CIÊNCIA COMO
FERRAMENTA DE APOIO AO ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Física.

Orientador: Profª Drª Marcia Regina Santana Pereira

Vitória

2014

V469p Venturine, Cleidson

A primeira revolução industrial e o desenvolvimento da termodinâmica: a história da ciência como ferramenta de apoio ao ensino de física / Cleidson Venturine. - 2014.
127f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.

Orientador: Profª Drª Marcia Regina Santana Pereira.

1. História da Ciência. 2. História da Termodinâmica. 3. Ensino de Física. I. Universidade Federal do Espírito Santo. II. Título.

CDD 21 – 530.9



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

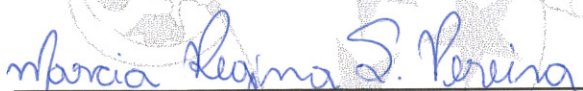
Cleudson Venturine

**A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESENVOLVIMENTO
DA TERMODINÂMICA:
A HISTÓRIA DA CIÊNCIA COMO FERRAMENTA DE APOIO AO
ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Ensino de Física da Universidade Federal do
Espírito Santo como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 03 de Junho de 2014.


COMISSÃO EXAMINADORA



Profa. Dra. Marcia Regina Santana Pereira
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Fernando José Lira Leal
Instituto Federal de Educação – Cariacica



Prof. Dr. João Paulo Casaro Erthal
Universidade Federal do Espírito Santo

DEDICATÓRIA

ESTE TRABALHO É DEDICADO À TODOS QUE CONTRIBUÍRAM DE ALGUMA FORMA PARA MEU DESENVOLVIMENTO INTELECTUAL E PROFISSIONAL. EM PRIMEIRO LUGAR, DEDICO À DEUS POR TER CRIADO TUDO QUE EXISTE E TER NOS DADO O LIVRE ARBÍTRIO PARA QUE POSSAMOS CONSTRUIR NOSSA PRÓPRIA HISTÓRIA.

EM SEGUNDO LUGAR, MAS NÃO MENOS IMPORTANTE, AOS MEUS PAIS, AFRÂNIO VENTURINE E LEONINA MARIA DE SOUZA VENTURINE, POR TEREM ME CRIADO COM TANTO AMOR E CARINHO, POR TEREM LUTADO TANTO PARA ME DAR O QUE NÃO TIVERAM E CONTRIBUÍDO SIGNIFICATIVAMENTE PARA MINHA FORMAÇÃO, NÃO SÓ COMO PROFISSIONAL, MAS COMO CIDADÃO. TENHO CERTEZA DE QUE SEUS SACRIFÍCIOS JAMAIS SERÃO ESQUECIDOS.

GOSTARIA, TAMBÉM, DE DEDICAR À MINHA ESPOSA, VIVIAN DE CAMPOS CARLOS BRAGA VENTURINE, POR TER ME INCENTIVADO E APOIADO EM TODOS OS MOMENTOS EM QUE PENSEI EM DESISTIR E A TODOS OS AMIGOS QUE, DE ALGUMA FORMA, ESTIVERAM PRESENTES EM MINHA VIDA NESSES ÚLTIMOS ANOS.

POR FIM, GOSTARIA DE DEDICAR ESTE TRABALHO A TODOS OS COLEGAS DE PROFISSÃO E A TODOS OS COLEGAS DE CURSO, DESDE A ÉPOCA DA GRADUAÇÃO ATÉ AGORA, NO CURSO DE MESTRADO, POR TEREM SEMPRE AJUDADO EM MEU PROCESSO DE FORMAÇÃO.

AGRADECIMENTO

ESTE TRABALHO NÃO SERIA POSSÍVEL SEM A COLABORAÇÃO DE ALGUNS COLEGAS, EM ESPECIAL DE MINHA ORIENTADORA, PROF. DRA. MÁRCIA REGINA SANTANA PEREIRA. TAMBÉM NÃO PODERIA ESQUECER DE MEUS COLEGAS DE TRABALHO, CAMILA GUIDONI (QUE DESENHOU VÁRIAS GRAVURAS PRESENTES NA APOSTILA), FLÁVIA CÂNDIDA DO NASCIMENTO DE SOUZA (QUE ME AJUDOU NA ELABORAÇÃO DA PARTE HISTÓRICA DA APOSTILA E NA CORREÇÃO DAS QUESTÕES QUE VERSAVAM SOBRE HISTÓRIA DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL) E O PROF. DR. FERNANDO JOSÉ LIRA LEAL (QUE PERMITIU QUE EU APLICASSE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA NAS TURMAS EM QUE LECIONAVA).

NÃO MENOS IMPORTANTE FOI A PARTICIPAÇÃO DE TODOS OS ALUNOS DO CAMPUS LINHARES DO INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO ENVOLVIDOS NO PROCESSO.

POR FIM, GOSTARIA DE AGRADECER AO PROF. DR. LAÉRCIO FERRACIOLLI, POR TER ME EMPRESTADO VÁRIOS LIVROS ÚTEIS AO DESENVOLVIMENTO DESTES TRABALHOS.

RESUMO

As dificuldades apresentadas pelos alunos no processo ensino/aprendizagem em Física são notórias para qualquer profissional da área. Muitos fatores influenciam este quadro, entre eles o fato dos estudantes não perceberem a utilidade dos conteúdos abordados. Frequentemente a metodologia aplicada em sala de aula está centrada na memorização de fórmulas e conceitos científicos que não são assimilados por completo, tornando-se conceitos teóricos vagos, não estimulantes ao pensamento crítico.

Nos últimos anos algumas práticas alternativas ao ensino tradicional vem ganhando espaço nas salas de aula. Uma delas é o uso da história da ciência como ferramenta para o ensino contextualizado da Física. Porém, o despreparo dos professores e a falta de material didático apropriado podem ser fatores que dificultam seu uso.

Assim, este trabalho apresenta uma proposta de material didático e de sequência didática que visa integrar e contextualizar histórica e socialmente o ensino da termodinâmica. Esta sequência foi aplicada em quatro turmas do 3º ano do ensino médio e os resultados nos permitem inferir que houve um bom aproveitamento por parte dos alunos e que propostas dessa natureza podem ser construídas abordando diferentes conteúdos.

ABSTRACT

The difficulties presented by the students in the teaching/learning process in physics are notorious for any professional. Many factors influence this situation, including the fact that students do not perceive the usefulness of aborted content. Often the methodology applied in the classroom is centered on memorizing formulas and scientific concepts that are not completely assimilated, becoming vague theoretical concepts, nor stimulating for a critical thinking.

In recent years some alternatives to traditional education is gaining space in classrooms. One is the use of history of science as a tool for contextualized teaching of physics. However, the lack of preparation of teachers and the lack of appropriate teaching material may be factors that hinder its use.

Thus, this text presents a proposal for teaching materials and instructional sequence that aims to integrate and contextualize historically and socially the teaching of thermodynamics. This sequence was applied in four classes of the 3rd year of high school and the results allow us to infer that there was a good use by students and proposals of this nature can be built covering different contents.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	.....	08
1. JUSTIFICATIVA	.....	11
1.1 O PROBLEMA DO ENSINO/APRENDIZAGEM DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO	.....	11
1.2 A PROPOSTA DE ENSINAR HISTÓRIA DA FÍSICA	.....	14
2. SUBSÍDIOS TEÓRICOS	.....	23
2.1 O PROCESSO ENSINO/APRENDIZAGEM	.....	23
2.1.1 O CONCEITO DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	.....	25
2.1.2 A TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL	.....	27
2.1.3 O CONCEITO DE SEQUENCIA DIDÁTICA	.....	29
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICO/SOCIAL: A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	.....	30
2.2.1 A SOCIEDADE EUROPEIA ANTES DA PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	.....	31
2.2.2 FATORES QUE PROPICIARAM A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	.....	34
2.2.3 O SURGIMENTO DAS FÁBRICAS	.....	37
2.2.4 ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS	.....	39
2.3 HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA: EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS	.....	40
2.3.1 O SURGIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS	.....	40
2.3.2 Os ESTUDOS TEÓRICOS: A MÁQUINA DE CARNOT	.....	41
2.3.3 O CONCEITO DE TEMPERATURA	.....	43
2.3.4 O CONCEITO DE CALOR	.....	46
2.3.5 AS LEIS DA TERMODINÂMICA	.....	50
3. METODOLOGIA	.....	53
3.1 ESCOLHA DO TEMA	.....	53
3.2 CONSTRUÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO	.....	53
3.3 CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	.....	54
3.4 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	.....	55
3.5 COLETA DE DADOS – AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM	.....	58
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	.....	67
4.1 A PESQUISA EM ENSINO	.....	67
4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	.....	69
5. CONCLUSÃO	.....	75
REFERÊNCIAS	.....	79
APÊNDICE A	.....	84
APÊNDICE B	.....	103
APÊNDICE C	.....	107

INTRODUÇÃO

Não é nenhuma novidade que a disciplina de Física no ensino médio é uma das mais temidas pelos alunos. É comum aos profissionais que atuam nesta área, quando dizem que são professores de Física a primeira coisa que lhes perguntam é:

— Você é louco?!

Essa cultura vem se disseminando há muito tempo e muito tem a ver com as práticas de ensino utilizadas há décadas. Porém, nos últimos anos tem havido uma crescente inovação das práticas em sala de aula e o estágio atual da tecnologia da informação vem propiciando uma divulgação ampla dessas práticas. Alguns exemplos dessas inovações são: ensino baseado em problemas e a utilização de experimentos e de simuladores. Outra ideia que vem se disseminando, já há algum tempo, é a contextualização histórica como ferramenta para auxiliar o processo de ensino/aprendizagem de conceitos.

A discussão sobre necessidade de se implementar – ou não – o uso da História da Ciência (HC) como ferramenta para o ensino de Física passa pela questão de que tipo de ensino queremos em nossas escolas – principalmente de educação básica. Assim, uma discussão como essa se tornaria muito ampla e, como afirma Martins (1990):

Se quisermos começar discutindo os fins da humanidade não chegaremos à análise do papel da história da ciência no ensino. Mas, embora não seja praticável recuar até esse ponto, é importante ter bem claro, em mente, que o problema de que se trata aqui é um problema de valores: o que é válido ou não? O que é bom ou mau? O que é melhor ou pior? E, como se sabe, não é possível chegar-se a uma solução de problemas de valores (axiológicos) por métodos científicos. Dessa forma, o que se pode fornecer é uma opinião (MARTINS, 1990, p.03).

O presente trabalho é uma proposta de como utilizar esta ferramenta – História da Ciência – no ensino de conceitos relacionados à Termodinâmica. Este conteúdo foi escolhido por apresentar uma íntima relação com a Primeira Revolução Industrial, que constitui um conjunto de acontecimentos marcantes na história da humanidade.

Primeiro, propõe-se uma discussão a respeito da crise pela qual passa o ensino de ciências em geral, discutindo a opinião de alguns pesquisadores e constatações de algumas pesquisas. Também será feita uma discussão a respeito da inserção de HC nos currículos de ciência no Brasil e no mundo e a opinião de alguns educadores e pesquisadores em educação e história da ciência sobre a importância do ensino contextualizado, levando em consideração a sociedade, a economia e os aspectos históricos envolvidos na construção do conhecimento.

Em seguida, é apresentada uma proposta sobre a possibilidade de introduzir conteúdos de Física do ensino médio, principalmente a Termodinâmica, contextualizados historicamente e socialmente. Esta proposta leva em consideração relatos de abordagens feitas no mesmo estilo por outros professores pesquisadores e se baseia, também, em teorias de aprendizagem amplamente defendidas entre pesquisadores em educação e educadores em geral.

A revisão bibliográfica apresenta os subsídios teóricos que auxiliaram no desenvolvimento do material didático, e que leva em consideração o desenvolvimento dos conceitos ligados à Termodinâmica. Porém, tal estudo faz questão de representar a sociedade da época bem como as inter-relações que podem ser verificadas quando comparamos o período correspondente à Primeira

Revolução Industrial com o período em que os conceitos relacionados à Termodinâmica tiveram maior desenvolvimento, em particular com a criação e popularização das máquinas térmicas.

A proposta apresentada é uma sequência didática desenvolvida para potencializar o uso de um material didático desenvolvido pelo autor. O material consiste de uma apostila baseada, principalmente, na interpretação histórica e social do livro do consagrado historiador Eric J. Hobsbawn (2009), *A Era das Revoluções*.

Parte do texto que apresenta o desenvolvimento dos conceitos englobados pela Termodinâmica foi baseada no livro *A História da Termodinâmica Clássica: Uma Ciência Fundamental* (PÁDUA *et al*, 2009) e em fragmentos de alguns artigos científicos, como, por exemplo: “Flogístico”, “Calórico” e “Éter” (BRITO, 2008), *A História da Ciência no Ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o Ensino da Física* (HÜLSENDEGER, 2007) e *Os Experimentos de Joule e a Primeira Lei da Termodinâmica* (PASSOS, 2009).

A avaliação do material utilizado foi feita através do acompanhamento de quatro turmas do 3º ano do ensino médio, de uma escola da rede pública estadual do Espírito Santo, durante o ano de 2013. Nesta avaliação foram utilizados critérios qualitativos.

Finalmente o texto apresenta uma análise dos dados obtidos, considerando as avaliações de apreensão de conteúdo feitas pelo autor antes e após a aplicação do material descrito. A partir dessa análise são feitas considerações finais e apontados possíveis desdobramentos para o estudo.

1. JUSTIFICATIVA

1.1. O PROBLEMA DO ENSINO/APRENDIZAGEM DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

O processo de ensino-aprendizagem em Física vem sendo tema de várias pesquisas realizadas nos últimos anos. A situação atual do ensino de ciências nas escolas se mostra superficial, de forma que a metodologia aplicada em sala de aula consiste na doutrinação de fórmulas e conceitos científicos que não são assimilados por completo, tornando-se conceitos teóricos vagos, não estimulantes ao pensamento crítico.

Pela experiência em sala de aula, pelos relatos de colegas e através de várias pesquisas, percebemos que o resultado pretendido quando se pensa em ensinar Física não vem sendo satisfatoriamente alcançado, como apontam Rosa e Rosa (2005):

Parece ser consenso nas pesquisas apresentadas nos principais periódicos do país e debatido nos encontros envolvendo professores e pesquisadores do ensino de Física, que da forma como ela vem se apresentando nos livros textos e consequentemente em sala de aula, está distanciada e distorcida do seu real propósito (ROSA e ROSA, 2005, p.02).

Algumas pesquisas internacionais realizadas nas últimas décadas já vinham acenando com os problemas enfrentados pelo ensino tradicional de ciências. Tendo em vista tais resultados, alguns autores defendem a necessidade de um ensino diferente, como vemos em Duarte (2004):

Resultados de projetos de avaliação envolvendo uma análise comparativa da situação em diferentes países no que diz respeito ao desempenho, em ciências, de jovens de diferentes níveis de ensino (Projeto TIMSS – Third International Mathematics and Science Study), assim como o grau de “literância científica” revelado por jovens de 15 anos de idade, de diferentes níveis de escolaridade (Projecto PISA – Programme for International Student Assessment, OCDE, 2000) evidenciam que, se atendermos ao grau de compreensão e aprendizagem realmente alcançado por muitos alunos em temas

científicos e ainda às suas atitudes face às ciências, a situação é bastante preocupante (DUARTE, 2004, p.317).

Faz alguns anos que pesquisadores apresentam suas reflexões sobre a deficiência do ensino de Ciências e, em particular, em Física no ensino médio. Ainda na década de 80, Carraher e Schliemann (1985) já discutiam estas questões. Estes autores criticam, por exemplo, a forma como problemas científicos são tratados em sala de aula, com ênfase na memorização de termos, fórmulas e rotinas matemáticas. Vejamos o trecho que cita o ensino de velocidade média:

No entanto, embora crianças da 4ª série saibam calcular a velocidade de um veículo, dados a distância percorrida e o tempo, pode-se observar sua dificuldade em compreender o conceito de velocidade quando lhes propomos questões que envolvem coordenar observações sobre os pontos de partida e chegada, as distâncias percorridas e os intervalos de tempo, sem que os valores das distâncias e tempo sejam numericamente fornecidos (CARRAHER e SCHLIEMANN, 1985, p.890).

Os autores ainda citam outros fatores como problemáticos no ensino de ciências.

Entre os quais cabe destacar:

- O ensino baseado em “copiar e memorizar”, sem levar em consideração o cotidiano do aluno;
- Os professores preferem cobrir uma maior quantidade de conteúdo ao invés de aprofundar tópicos de maior importância;
- Livros didáticos e professores ignoram as características do desenvolvimento intelectual da criança;
- O ensino não leva em consideração os conhecimentos adquiridos anteriormente pelo aluno;
- O ensino não considera a importância de incluir outros objetivos para o ensino de Ciências, além da formação do cientista.

Levando em consideração trabalhos mais atuais, parece que os principais problemas vem persistindo. Tomamos como exemplo o que nos aponta Rosa e Rosa (2005):

A maioria dos livros que circulam nas escolas apresentam os conteúdos como conceitos estanques, dando o caráter de Ciência acabada e imutável a Física. Porém, o mais problemático das obras está na forte identificação que elas agregam entre a Física e os algoritmos matemáticos. Os textos e, principalmente, os exercícios são apresentados como matemática aplicada, na qual a questão fundamental se resume a treinar o estudante na resolução de problemas algébricos. (ROSA e ROSA, 2005, p.02)

Os autores também criticam a imensa quantidade de conteúdos abordados em contraste com a pequena carga horária da disciplina no ensino médio.

Também podemos citar Neves (1998) que, no final da década de 1990, criticou veementemente o modelo de ensino brasileiro, caracterizado pela divisão de saberes científicos e pelo conteudismo. Segundo ele, tal fato implica um empobrecimento da linguagem da ciência. Podemos citar a passagem:

Podemos notar esta divisão odiosa de saberes na construção dos currículos escolares. Por melhores que sejam, embasados em teorias educacionais progressistas, a visão cartesiana imperante, que vê o ensino como um somatório discretizado de objetivos (docentes, discentes, condições e jornadas de trabalho, etc.), aniquila a possibilidade de construção do conhecimento. O que temos visto nas últimas décadas é a ciência sendo apreendida como um dado e não como uma possibilidade de construção e integração com as demais ciências e com as necessidades diárias do cidadão comum (NEVES, 1998, p.74).

Assim como Carraher e Schliemann (1985), Neves (1998) também critica o ensino baseado em copiar, memorizar, aplicar fórmulas e rotinas matemáticas, como podemos ver em seu texto:

Assim, a educação científica trata de propagar e imortalizar os paradigmas da ciência por processos de repetição, memória e esquematizações excessivas, através de uma linguagem matemática muitas vezes eclipsadoras do conjunto de fenômenos que deu origem a determinadas teorias e modelos. (NEVES, 1998, p.79)

Em vista de todos os problemas já conhecidos, e outros tantos desconhecidos, muitas são as propostas que vem sendo apresentadas nos últimos anos, como opção/alternativa aos métodos tradicionais utilizados no ensino de Física, principalmente em nível de ensino médio. Dentre elas, podemos citar:

- Atividades direcionadas para modificar as concepções alternativas;
- Ensino baseado em problemas;
- Experimentos de baixo custo;
- Experimentos em laboratório;
- Uso de simuladores, jogos e modelagem computacionais;
- História da ciência.

1.2. A PROPOSTA DE ENSINAR HISTÓRIA DA FÍSICA

A proposta de ensinar a HC é defendida por alguns autores. Cibelle Celestino da Silva no prefácio de seu livro *Estudos de história e filosofia da ciência: Subsídios para aplicação no ensino*, destaca:

A amplamente documentada crise no ensino contemporâneo de ciências, com estudantes e professores desmotivados e também os elevados índices de analfabetismo científico estão entre os principais alvos das pesquisas educacionais em ensino de ciências. Há inúmeras abordagens que são consideradas atualmente para tentar solucionar ou, ao menos, amenizar esses problemas. Entre elas, está o uso da história e filosofia da ciência no ensino de ciências (SILVA, 2006, p.09).

É nesta perspectiva que se insere este trabalho, não se pretende aqui criticar os outros métodos alternativos, nem provar que o método proposto seja melhor ou pior do qualquer outro. A tentativa é dar opções ou apresentar alternativas aos métodos tradicionais de ensino de Física, dando subsídios para que qualquer

professor possa trabalhar em sala de aula contextualizando histórica e socialmente o desenvolvimento das descobertas científicas, em particular da Termodinâmica, através de uma integração entre Física e história.

Nos últimos anos vem crescendo o número de pesquisas sobre História da Ciência e, em particular, sobre como a HC pode auxiliar no processo de ensino/aprendizagem. Na área da Física, existem alguns autores trabalhando nessa linha há algum tempo, como Roberto Martins, Cibele Celestino Silva, Andréia Guerra, Roberto Nardi, André Ferrer Martins, José Maria Filardo Bassalo entre outros. Alguns questionamentos são comuns a quase todos os trabalhos de pesquisa brasileiros nessa área, como, por exemplo:

- Existe a preocupação de introduzir HC no currículo do ensino básico no Brasil? E em outros países?
- Quais as relações entre HC e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Brasil?
- O que dizem os pesquisadores em educação sobre o uso de HC no ensino?
- Quais as vantagens e desvantagens de usar HC no ensino?

Buscaremos responder a essas perguntas visando subsidiar o uso da HC no ensino de Física e, conseqüentemente, no ensino da Termodinâmica.

Quanto ao uso de História e Filosofia da Ciência no ensino, cabe ressaltar que o ensino de ciências concomitantemente à história e à filosofia já foi bastante utilizado até fins do século XV e início do século XVI. No Brasil, em particular, no início do século XIX o currículo do ensino básico ainda tinha caráter basicamente

humanístico. Assim, praticamente não havia espaço para disciplinas científicas.

De acordo com Nicioli Junior e Mattos (2008):

Disciplinas como retórica, línguas, filosofias, etc., tinham como função desenvolver o intelecto dos indivíduos a fim de capacitá-los para o ensino superior dando ao ensino secundário um caráter propedêutico. Disciplinas de caráter científico não tinham uma função nesse processo ficando praticamente excluídas do currículo (NICIOLI JUNIOR e MATTOS, 2008, p.200).

Segundo estes autores, alguns acontecimentos do final do século XIX foram fundamentais para a mudança no modo como se ensinava ciências no Brasil, entre eles:

- Abolição da escravatura;
- Chegada de imigrantes;
- Início do novo regime político – a República;
- Desenvolvimento industrial.

Com relação a este último em especial, a necessidade de mão-de-obra preparada para as novas tecnologias influenciou significativamente a inclusão do conhecimento científico nos novos currículos do ensino básico.

Assim, a partir do início do século XX, o ensino de Física no Brasil passou a dar mais ênfase no ensino da ciência cartesiana, baseada em coordenadas, números e fórmulas. Ou seja, o ensino de Física se resumia ao ensino de leis, fórmulas, operações matemáticas e regras que serviam para resolver determinados problemas, basicamente matemáticos (NICIOLI JUNIOR e MATTOS, 2008). Não que este tratamento seja melhor ou pior que o antigo. Mas, sim, que existem situações em que pode ser interessante dar um tratamento diferenciado ao ensino de ciências, ressaltando seus aspectos humanos e suas contribuições para a

evolução da sociedade como um todo. Alguns autores defendem que o ensino de ciências deve evoluir, como Duarte (2004):

O objetivo de formar “futuros cientistas” (revelar talentos ou despertar vocações), perseguido durante décadas pelo ensino escolar das ciências, passa agora para o de formar cidadãos capazes de estabelecer uma relação crítica com a ciência e a tecnologia, mas também conhecedores da História da Ciência (DUARTE, 2004, p.318).

Seguindo estas tendências alguns países já vem acenando com essas mudanças e a inclusão de conteúdos relacionados com a história das ciências. Segundo Pereira e Martins (2011):

Enquanto componente curricular, observa-se que a inserção da história e filosofia da ciência nas estruturas curriculares acadêmicas começou a crescer após a segunda guerra mundial. A criação de revistas, sociedades, departamentos, bem como a realização de estudos na área constituem aspectos fundamentais para a sua institucionalização como disciplina nas universidades (PEREIRA e MARTINS, 2011, p.233).

As mudanças que foram ocorrendo nos currículos de ciências em diversos países desde a década de 60 parecem mostrar uma necessidade de se desenvolver novas técnicas que possam reaproximar o aluno dos significados realmente relevantes da ciência. De acordo com Duarte (2004):

O que parece emergir de todo esse movimento é uma reaproximação frutífera entre a História da Ciência, a Filosofia da Ciência (fortemente marcada por perspectivas da Nova Filosofia da Ciência) e o ensino das ciências, permitindo um movimento em espiral que retoma e reconstrói, a níveis diferentes de complexidade e de profundidade, questões que se colocam no campo da didática das ciências e, simultaneamente, integram novos elementos, permitindo a transformação e gerando a inovação (DUARTE, 2004, p.320).

Ainda de acordo com Duarte (2004):

A valorização explícita da História da Ciência como uma dimensão indispensável na educação em ciências consubstancia-se na sua integração ao nível de alguns currículos oficiais, emergentes de reformas/reorganizações curriculares recentes, em países como Estados Unidos (RUTHERFORD & AHLGREN, 1989), Inglaterra (NATIONAL CURRICULUM FOR ENGLAND, 1999), Dinamarca (NIELSEN & THOMSEN, 1990), França (por ex.: PROGRAME PHYSIC-CHIMIE, 2002), Espanha (por ex.: DESENVOLVIMENTO CURRICULAR, Xunta de Galicia, 2001), Portugal (DEPARTAMENTO DO ENSINO BÁSICO, 2001), ou em projetos curriculares de um grupo particular de investigadores (DUARTE, 2004, p.321).

Esta análise também é corroborada por Matthews (1995), quando se refere à tentativa de alguns governos em resolver a crise no ensino de ciências evidenciado por pesquisas internacionais:

Há muitos elementos envolvidos nessa reaproximação. Porém, o mais importante deles é a inclusão de componentes de história e de filosofia da ciência em vários currículos nacionais, o que já vem ocorrendo na Inglaterra e no País de Gales; nos Estados Unidos, através das recomendações contidas no Projeto 2061 concernente ao ensino de ciências da 5ª série do primeiro grau até a 3ª série do segundo; no currículo escolar dinamarquês; e na Holanda, nos currículos do PLON (MATTHEWS, 1995, p.165).

No Brasil, em particular, esta tendência já vem sendo defendida por vários pesquisadores a bastante tempo – como já citado anteriormente. Podemos perceber a influência destas ideias nos PCN de Física, como indica o trecho:

Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado (BRASIL, 2000, p.02).

Ainda nos PCN, podemos citar algumas competências descritas, tais como:

- Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.
- Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas.
- Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época, identificando como seus avanços foram modificando as condições de vida e criando novas necessidades.

- Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história.
- Compreender a Física como parte integrante da cultura contemporânea, identificando sua presença em diferentes âmbitos e setores.
- Compreender a responsabilidade social que decorre da aquisição de conhecimento, sentindo-se mobilizado para diferentes ações, seja na defesa da qualidade de vida, na qualidade das infraestruturas coletivas, ou na defesa de seus direitos como consumidor.

Mesmo com essas recomendações governamentais explícitas percebemos que o uso de HC como ferramenta para auxiliar o ensino no Brasil ainda é muito restrito. Alguns dos motivos que podem explicar tal situação são a falta de preparo dos professores e a grande falta de material didático de qualidade em português – como destaca Silva (2006). Estes motivos também são expostos por Duarte (2004):

A utilização da História da Ciência na sala de aula requer que os professores possuam uma formação que lhes permita fazer uma seleção de material histórico adequado ou mesmo a construção de materiais específicos para a situação de ensino-aprendizagem (DUARTE, 2004, p.321).

Segundo Matthews (1995) existe uma tendência de reaproximação entre história, filosofia e ensino de ciências que deve ter implicações relevantes no processo de formação do professor. Ele ressalta a importância da HC na formação dos professores e relata que:

Alguns programas americanos de formação de professores de ciências tomaram história, filosofia e sociologia obrigatórias e o estado da Flórida vinculou a concessão de licença para o ensino de ciências à conclusão de um curso em HFS – do inglês, História e Filosofia da Ciência (MATTHEWS, 1995, p. 166).

Ao se introduzir a História da Ciência no estudo das Ciências, está se oferecendo uma contextualização, de modo que o aluno possa compreender quais eram as instituições, o senso científico, os dogmas religiosos e sociais vigentes em determinado período, e como influenciaram descobertas científicas e/ou como foram afetados pelas mesmas. Isso pode tornar o estudo menos sistemático e mecânico e contribuir para uma humanização da ciência, aproximando-a do aluno.

Fazer com que os conceitos científicos teóricos passem de fórmulas, que devem ser obrigatoriamente decoradas, a descobertas influenciadas pela antropologia, sociologia e filosofia, podem influenciar no processo de ensino/aprendizagem do aluno, tornando-o menos metódico e mecanizado.

Em uma visão mais geral, podemos relatar vários pontos positivos no uso de História da Ciência no ensino de Física, como destaca Matthews (1995) ao tratar da crise no ensino de ciências:

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (MATTHEWS, 1995, p.165).

Assim, o uso de HC como ferramenta de apoio no ensino de Física, pode ajudar a desenvolver o pensamento crítico nos alunos, fazendo-os perceber que os fatos científicos vigentes, não são absolutos, imutáveis. Podem, também, estimular a vontade do desenvolvimento de pesquisa, grande responsável pelo crescimento

da bagagem científico-filosófica da humanidade. Sem esse pensamento crítico e a criatividade gerada pela vontade de se pesquisar, a ciência não evolui.

Decorre das ideias de Matthews (1995) que a compreensão das provas e argumentos sobre os quais um pesquisador baseou suas descobertas as tornam mais verossímeis, críveis, o que poderia resolver o problema da falta de credulidade na significação de descobertas que se faz presente majoritariamente nas salas de aula do mundo todo.

Neste contexto, podemos citar alguns pesquisadores, como Silva (2006). Ela relata que uma das vantagens de se usar HC no ensino é a desmistificação do cientista como “gênio”. Podemos perceber isso no trecho:

Com isso, o estudo da história e filosofia da ciência contribuiria para evitar a crença generalizada no mito dos “grandes gênios” como Galileu, Darwin, Lavoisier ou Einstein que teriam descoberto a verdade através de um método científico infalível, corrigindo os erros dos ignorantes de épocas anteriores e a visão de que o conhecimento científico é um produto acabado e que não resta mais nenhum problema significativo a resolver (SILVA, 2006, p.09).

Assim, embora a História da Ciência possa ser uma alternativa para solucionar alguns dos problemas referentes ao ensino, a questão de como ensiná-la ainda continua em aberto. Como destaca Silva (2006) ao se referir aos problemas no ensino de ciências:

No entanto, como todos sabem, um dos grandes desafios do uso adequado da história e filosofia da ciência no ensino é o de produzir material didático de qualidade acessível ao nível de maturidade dos diversos públicos (estudantes, professores e outros) (SILVA, 2006, p.09).

Como reforçam vários pesquisadores, quando se usa a HC como alternativa no processo de ensino/aprendizagem, deve-se atentar para o rigor das informações. Ou seja, não devemos distorcer informações em função de uma tentativa de adequar os fatos à linguagem dos estudantes. De acordo com Matthews (1995):

Os que defendem HFS tanto no ensino de ciências como no treinamento de professores, de uma certa forma, advogam em favor de uma abordagem contextualista, isto é, uma educação em ciências, onde estas sejam ensinadas em seus diversos contextos: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico; o que não deixa de ser um redimensionamento do velho argumento de que o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, em e sobre ciências. Para usar a terminologia adotada pelo Currículo Nacional Britânico, os alunos de primeiro e segundo grau devem aprender não somente o conteúdo das ciências atuais mas também algo acerca da Natureza da ciência (MATTHEWS, 1995, p.166).

2. SUBSÍDIOS TEÓRICOS

2.1. O PROCESSO ENSINO/APRENDIZAGEM

O processo ensino/aprendizagem é constante e contínuo e não acontece somente dentro das escolas. Ele está presente no cotidiano dos indivíduos e o acompanha desde o início de sua vida. Apesar disso, o processo ensino/aprendizagem que ocorre em espaços formais de ensino é o principal objeto de pesquisa e discussões relacionadas à prática pedagógica. Podemos definir espaços formais como:

O espaço formal é o espaço escolar, que está relacionado às Instituições Escolares da Educação Básica e do Ensino Superior, definidas na Lei 9394/96 de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. É a escola, com todas as suas dependências: salas de aula, laboratórios, quadras de esportes, biblioteca, pátio, cantina, refeitório (JACOBUECCI, 2008, p. 56).

Podemos, também, definir a educação escolar de acordo com Rosa e Rosa:

Desde as sociedades antigas até as contemporâneas, a educação como processo de mediação sistematizado, recebe a denominação de educação escolar, apoiando suas bases em ações intencionais. Os conteúdos escolares decorrentes dos conhecimentos historicamente acumulados pela humanidade passam a ser um dos elementos integrantes desta ação intencional, mas não único, encontrando no ato didático-pedagógico um importante aliado (ROSA e ROSA, 2007, p.1).

Nessa perspectiva, o ensino de disciplinas científicas tem sido alvo de diversas pesquisas que visam, entre outras coisas, identificar possíveis problemas e apontar propostas que possam representar alternativas.

De acordo com vários autores, o planejamento pedagógico e a pesquisa de ações educativas são ferramentas importantíssimas nesse processo e seu desenvolvimento é sempre carregado de uma intencionalidade particular ao docente, que por sua vez, sofre grande influência de suas próprias experiências e da sociedade onde está inserido.

Assim, surgem questões básicas que parecem inerentes a todo processo educacional: Porque e para que ensinar? Segundo Rosa e Rosa (2007), o processo educacional vem se baseando na simples transmissão de técnicas e procedimentos, como apontam:

Historicamente, temos consolidado o processo educativo na perspectiva do que Engels no século XIX já criticava, mostrando que a transmissão do conhecimento na escola caminhava na perspectiva de técnicas de produção, restringindo o aprendizado à reprodução destas técnicas (Rosa e Rosa, 2007, p.2).

Isso de certa forma é contrário os objetivos da educação científica, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN):

Com esta compreensão, o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, desenvolvendo meios para a interpretação de fatos naturais, a compreensão de procedimentos e equipamentos do cotidiano social e profissional, assim como para a articulação de uma visão do mundo natural e social. Deve propiciar a construção de compreensão dinâmica da nossa vivência material, de convívio harmônico com o mundo da informação, de entendimento histórico da vida social e produtiva, de percepção evolutiva da vida, do planeta e do cosmos, enfim, um aprendizado com caráter prático e crítico e uma participação no romance da cultura científica, ingrediente essencial da aventura humana (PCN, 2004, p. 7).

No texto do próprio PCN se reconhece os problemas do processo educacional ao afirmar, logo após a consideração anterior, que:

Uma concepção assim ambiciosa do aprendizado científico-tecnológico no Ensino Médio, diferente daquela hoje praticada na maioria de nossas escolas, não é uma utopia e pode ser efetivamente posta em prática no ensino da Biologia, da Física, da Química e da Matemática, e das tecnologias correlatas a essas ciências (PCN, 2004, p. 7).

Dessa forma, vem se tornando cada vez mais frequentes propostas de ações e atividades que possam caracterizar alternativas aos procedimentos geralmente utilizados em sala de aula. Porém, segundo alguns autores, várias dessas ações não se baseiam em teorias de aprendizagem minimamente aceitáveis e isso pode acarretar problemas no processo de ensino/aprendizagem. Por exemplo, podemos citar:

A psicologia, através das teorias de aprendizagem, oferece um importante viés pelo qual podemos refletir o ensino da Física, principalmente na perspectiva das dificuldades apresentadas pelos estudantes na compreensão dessa ciência. Mesmo que a referência da psicologia sejam estudos voltados para o processo de aprendizagem, através das teorias de aprendizagem, é importante destacar que a nosso ver, elas acabam influenciando outros aspectos relacionados ao ensino, como as estratégias e metodologias utilizadas no ensino, bem como influenciam os materiais instrucionais elaborados e empregados no ensino (Rosa & Rosa, 2007, p.5).

Enfim, de acordo com o apresentado, há uma tendência em utilizar referenciais pedagógicos que possam subsidiar atividades de ensino alternativas. Assim, o próximo tópico se destina a apresentar os referenciais que foram seguidos durante a construção do material e da sequência didática utilizada em sala de aula.

2.1.1. O Conceito da Transposição Didática

O conceito de transposição didática ou transposição pedagógica foi apresentado pela primeira vez pelo sociólogo francês Michel Verret, em 1975. Este tema foi amplamente investigado por diversos pesquisadores da área da educação mas ganhou mais notoriedade com os trabalhos do francês Yves Chevallard, do ramo da didática da matemática.

Para Chevallard (1991, apud LEITE, 2004), o conhecimento construído ao longo dos anos por cientistas e estudiosos das diversas áreas, chamado por ele de saber sábio, precisa passar por uma espécie de adaptação para poder se transformar num saber a ser ensinado. Este processo de adaptação foi chamado de transposição didática.

Este processo leva em conta três principais características que irão diferenciar o saber a ser ensinado do saber sábio:

- A programabilidade garante que o conhecimento possa ser estruturado em tópicos considerados mais importantes e sistematizado em uma sequência lógica;
- A dessincretização leva em conta a separação do saber em saberes pontuais;
- Já a despersonalização visa tirar qualquer característica pessoal deixada por seu criador (ou criadores) em determinado conhecimento.

Assim, o próprio livro didático consiste em um exemplo de tentativa de transposição didática ao passo que propõe uma sequência estruturada de conteúdos programáticos em uma linguagem diferenciada daquela usada pelos pesquisadores e estudiosos de determinada área.

Pode-se considerar, também, as tentativas docentes de modificação e prática de conhecimentos teóricos, para adaptá-los aos diferentes estilos de aprendizagem de cada estudante, como uma forma de transposição didática, à partir do momento em que o mesmo reinventa a forma de tratar desses assuntos, a fim de melhorar a transmissão do saber sábio.

Esse processo de transposição didática não é exclusivo do professor. O Governo, as instituições de ensino e a sociedade, tanto acadêmica quanto civil, participam desse processo de forma ativa. Assim, o saber a ser ensinado pode estar carregado de “intencionalidade”, ou seja, ser influenciado pelos dogmas da sociedade onde o indivíduo está inserido.

2.1.2. A Teoria de Aprendizagem de Ausubel

David Paul Ausubel (1918-2008) foi um grande psicólogo da educação que teorizou sobre os processos de aprendizagem. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel analisa, predominantemente, os processos de aprendizagem cognitiva, ou seja, os processos pelos quais novas informações são organizadas na estrutura mental do aprendiz. De uma forma geral, ele propõe métodos de organizar o ensino de modo que as novas informações possam ser entrelaçadas com informações anteriores.

Para Ausubel, é muito importante identificar os conceitos prévios que o aprendiz carrega consigo, antes de ser submetido a qualquer processo de ensino/aprendizagem. Esses conceitos prévios, aos quais Ausubel chama subsunçores, servirão de âncora para organizar as novas informações e relacioná-las em níveis de complexidade cada vez maiores. Para ele, caso essas novas informações não se relacionem à esses subsunçores, a aprendizagem que ocorre não é completa e essas novas informações podem não ter um significado claro para o aprendiz. Neste caso ele diz que houve uma aprendizagem mecânica. Para Moreira (1999):

A aprendizagem de pares de sílabas sem sentido é um exemplo típico de aprendizagem mecânica, porém, a simples memorização de fórmulas, leis e conceitos, em Física, pode também ser tomada com exemplo, embora se possa argumentar que algum tipo de associação ocorrerá neste caso (MOREIRA, 1999, p. 54).

Ou seja, quando alunos aprendem a decorar fórmulas e resolver exercícios através de métodos prontos, sem levar em consideração raciocínios lógicos que envolvam os conceitos físicos necessários e não se relacionam às informações previamente adquiridas, podemos dizer que estão desenvolvendo uma aprendizagem mecânica.

Mas, por outro lado, caso as novas informações se relacionem aos subsunçores e se organizem de forma hierárquica – com conceitos mais específicos ancorados aos conceitos mais amplos – na estrutura cognitiva do aprendiz, dizemos que houve uma aprendizagem significativa. Por exemplo, os conceitos de força peso ou força magnética podem ser ligados a um conceito previamente existente (o subsunçor) de força. Porém, ao receber novas informações, o próprio conceito anterior se modifica e evolui.

Então, de acordo com essa teoria, podemos estruturar o processo de ensino/aprendizagem de forma a melhorar a maneira como as novas informações serão organizadas na estrutura cognitiva do aluno. Podemos, inclusive, elaborar materiais que possam contribuir durante esse processo. Na teoria de Ausubel, essas novas informações, quando organizadas de modo a promover a aprendizagem significativa são chamadas de potencialmente significativas e os materiais elaborados para esse fim são chamados de potencialmente significativos. Contudo, Moreira (1999), quando trata das condições para que haja a aprendizagem significativa, ressalta que “independentemente de quão potencialmente significativo seja o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz for simplesmente a de memorizá-lo, arbitrária e literalmente, tanto o processo de aprendizagem quanto seu produto serão mecânicos.”

2.1.3. O Conceito de Sequência Didática

O termo sequência didática vem sendo usado para designar um processo que divide o ensino de determinado conteúdo em etapas encadeadas, que juntas compõem uma melhor forma de transmissão e recepção de conhecimento (AZEVEDO E PIETROCOLA, 2008). Esta técnica é muito utilizada no ensino de gêneros textuais, visto que se encaixou muito bem neste tipo de trabalho. Contudo, podem-se realizar trabalhos com sequências didáticas em outras áreas do conhecimento – como a Física em geral.

Uma sequência didática geralmente é estruturada em quatro etapas principais:

- Apresentação da situação: nesta etapa os alunos são apresentados ao plano de atividades que serão desenvolvidas durante a sequência. Deste modo, espera-se que os alunos, cientes da importância do conteúdo proposto, sejam mais participativos durante o desenvolvimento subsequente;
- Produção inicial: seu principal objetivo é fazer um levantamento dos conhecimentos prévios do aluno a respeito do conteúdo que será iniciado. Assim, é possível adequar os módulos seguintes para aproveitar os pontos fortes e aprimorar os pontos fracos dos alunos em tópicos específicos do conteúdo;
- Módulos: nesta etapa o professor/orientador deve utilizar de recursos didáticos variados que possam contribuir para o processo de aprendizagem do aluno, baseando-se nos resultados obtidos na produção inicial. A ideia é aproveitar o conhecimento prévio dos alunos como um ancoradouro, acrescentando mais informações que sejam coerentes com as informações

previamente adquiridas pelo estudante. Essas ideias são compatíveis com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e correspondendo aos subsunçores e aos materiais potencialmente significativos.

- Produção final: será uma atividade que, de certo modo, averiguará se os métodos utilizados durante os módulos foram eficientes. Poderá, inclusive, servir como método de avaliação da aprendizagem do aluno e da própria sequência didática.

Assim, entre os educadores que defendem o uso da sequência didática, há um consenso de que ao organizar os conteúdos a serem trabalhados dentro de uma sequência didática, os objetivos do curso se tornam mais claros e isso favorece a construção de caminhos para se atingir as metas propostas.

2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICO/SOCIAL: A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Primeira Revolução Industrial, ocorrida, principalmente, na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX, foi escolhida como ponto de partida para o estudo do desenvolvimento das Leis da Termodinâmica devido à sua importância histórica e aos impactos sobre a sociedade decorrentes de vários acontecimentos.

Para Hobsbawn (2009), as palavras que foram criadas e que ganharam significado em decorrência dessa Revolução – como indústria, capitalismo, socialismo, classe média, classe trabalhadora, greve, entre outras – são provas de sua importância. Nas suas palavras:

Imaginar o mundo moderno sem estas palavras (isto é, sem as coisas e conceitos a que dão nomes) é medir a profundidade da Revolução que eclodiu entre 1789 e 1848, e que constitui a maior transformação da história humana desde os tempos remotos quando o homem inventou a

agricultura e a metalurgia, a escrita, a cidade e o Estado (HOBSEBAWN, 2009, p. 02).

Segundo o autor (HOBSEBAWN, 2009), esta Revolução é tão importante que ainda causa impactos na sociedade atual. Assim, devemos analisa-la como um todo, ou seja, levar em consideração tanto os resultados de curto prazo quanto os de longo prazo. Além disso, para entendermos o alcance dessa Revolução, devemos entender como era a estrutura da sociedade antes, durante e depois desse período que compreende a Primeira Revolução Industrial.

2.2.1. A sociedade Europeia antes da Primeira Revolução Industrial

A história toda começa ainda no século XVIII. Naquela época o mundo era, ao mesmo tempo, muito maior e menor do que o nosso. Era muito menor, pois até mesmo os mais aventureiros dos homens conheciam apenas uma pequena fração do mundo habitado. Para os “homens normais”, cidadãos comuns das cidades, esse conhecimento era ainda menor. E, também, demograficamente, já que, segundo Hobsbawm (2009):

Não só o "mundo conhecido" era menor, mas também o mundo real, pelo menos em termos humanos. Já que para fins práticos não se dispõe de recenseamentos, todas as estimativas demográficas são pura especulação, mas é evidente que a terra abrigava somente uma fração da população de hoje; provavelmente não muito mais que um terço (HOBSEBAWN, 2009, p. 05).

Além disso, a concentração populacional era ainda menor, sendo assim, era menor também a colonização humana.

Por outro lado, a dificuldade na comunicação e no transporte, tanto de homens, quanto de mercadorias, o deixava muito maior do que é hoje. O transporte por terra era vagaroso e desconfortável (geralmente levava-se 1 dia para percorrer cerca de

30 km em carroças). O transporte por água era, geralmente, mais fácil, barato e rápido. Dessa forma, a maioria das cidades se desenvolvia próximo aos portos. Podemos dizer que a cidade de Hamburgo, na Alemanha, estava mais perto da Bahia do que das cidades do interior da Pomerânia (atual Alemanha). Assim, “o mundo em 1789 era, portanto, para a maioria dos seus habitantes, incalculavelmente grande” (HOBSEBORN, 2009, p. 07).

O mundo era essencialmente rural e é impossível entendê-lo sem assimilar este fato. Em países como a Rússia e a região da Escandinávia (Noruega, Dinamarca e Finlândia) onde as cidades não haviam se desenvolvido de forma acentuada, a população era cerca de 90 a 97% rural. Mesmo em áreas com uma forte tradição urbana, essa porcentagem não chegava a ser menor que 80%. Até mesmo na própria Inglaterra, a população urbana só veio a ultrapassar a rural pela primeira vez já em meados do século XIX.

O termo urbano inclui poucas cidades “grandes” segundo os nossos padrões – Londres tinha cerca de 1 milhão de habitantes e Paris cerca de 500 mil e algumas outras poucas tinham mais de 100 mil habitantes. Além disso, este termo inclui uma multidão de pequenas cidades de província com pouco mais de 20 mil habitantes, onde viviam a maioria dos cidadãos urbanos. Foi destas cidades que saíram os jovens ambiciosos e ardentes por fazer uma fortuna ou revoluções, ou as duas coisas ao mesmo tempo. Napoleão, por exemplo, veio de uma cidade chamada Ajaccio, no interior da França.

A cidade provinciana ainda pertencia essencialmente à sociedade e à economia do campo. Suas classes média e profissional eram constituídas por negociantes de trigo e de gado, processadores de produtos agrícolas, advogados e tabeliões,

empresários mercantis que exploravam os empréstimos feitos aos fiandeiros e tecelões dos campos, e, por fim, os mais respeitáveis representantes do governo, os nobres e a Igreja. Seus artesãos e lojistas asseguravam as provisões aos camponeses e aos cidadãos que viviam à custa dos camponeses. Segundo Hobsbawn (2009):

A cidade provinciana de fins do século XVIII podia ser uma próspera comunidade em expansão, como a sua paisagem dominada por construções de pedra em modesto estilo clássico ou rococó ainda hoje testemunha em parte da Europa Ocidental. Mas essa prosperidade vinha do campo (HOBSEBAWN, 2009, p. 09).

O problema agrário era, portanto, fundamental em meados do século XVIII e o ponto crucial era a relação entre os que cultivavam a terra e os que a possuíam, os que produziam sua riqueza e os que a acumulavam. Em grande parte da Europa Oriental o camponês típico era um servo, que dedicava grande parte do seu trabalho aos grandes senhores feudais. Esta região pode ser considerada como uma “economia dependente”, produtora de alimentos e matérias primas para a Europa Ocidental, de forma análoga às colônias de além-mar (Américas). O senhor de terras característico das áreas de servidão era um nobre proprietário e cultivador ou um explorador de enormes fazendas.

No resto da Europa, a estrutura agrária era socialmente semelhante, ou seja, para um trabalhador ou camponês, qualquer pessoal que possuísse uma propriedade era um “cavalheiro” e membro da classe dominante. Da mesma forma, não era possível adquirir o título de nobre sem uma propriedade.

Entretanto, economicamente, a sociedade rural ocidental era bem diferente. O camponês tinha perdido muito de sua condição de servo. Ele pagava ao senhor das terras (em forma de aluguel ou fração das safras) para poder cultivá-la.

Somente algumas áreas levaram o desenvolvimento agrário adiante, como a Inglaterra. Nestes lugares o que se via era uma classe de empresários agrícolas, os fazendeiros, e os trabalhadores rurais. A produção agrícola teve um aumento acima do aumento da população nesses lugares e os produtos excedentes eram comercializados com outras regiões que não produziam o bastante.

Com o comércio, surgia uma nova classe de indivíduos, os mercadores. Segundo Huberman (1981):

No início da era feudal, os sacerdotes e guerreiros, proprietários de terras, se achavam num dos extremos da escala social, vivendo do trabalho dos servos, que se encontravam no outro extremo. Agora, um novo grupo surgia a classe média, vivendo de uma forma nova, da compra e da venda (HUBERMAN, 1981, p. 36).

Dessa forma, a atividade de comércio cresceu muito nesse período e os mercadores tornaram-se os verdadeiros campeões econômicos da época, já que, embora as atividades de mineração e fabricação estivessem se expandindo rapidamente em todas as partes da Europa, o mercador continuava a deter o seu controle (HOBSEBORN, 2009, p. 14). Havia algumas exceções, principalmente na Inglaterra industrial. Porém, o industrial típico era um pobre gerente e não um capitão da indústria.

2.2.2. Fatores que propiciaram a Primeira Revolução Industrial

Em um período relativamente pequeno, aproximadamente entre 1760 e 1830, a sociedade e a economia (inicialmente na Inglaterra) sofreram uma grande mudança. Pela primeira vez na história da humanidade os processos de produção de bens e mercadorias tornaram-se imensamente grandes, ao ponto de produzirem lucros consideravelmente altos, à custa de baixos custos de produção e da

exploração de mercados consumidores externos. Este deve ter sido o mais importante acontecimento desde a invenção da agricultura e das cidades.

Na verdade, este período parece ser o ápice de um processo que se iniciou muito antes e não aconteceu na Inglaterra por acaso. De todas as nações onde poderia ter acontecido, a inglesa era a que oferecia melhores condições. Porém, ela não se deu em razão de seu desenvolvimento científico e tecnológico, nem em razão de seu sistema educacional (ambos inferiores quando comparados a outras nações europeias, como a França). Até porque, no início da Revolução não foram necessárias grandes inovações tecnológicas que estivessem além das capacidades dos artesãos, carpinteiros ou serralheiros da época. Até mesmo a máquina rotativa a vapor de James Watt – a máquina mais sofisticada da época – ainda utilizava conceitos físicos de um século atrás. Essa ideia é corroborada por Lindsay (apud Harry, 1987), quando comenta a influência da ciência sobre a criação da máquina térmica:

Quanto desse desenvolvimento era devido à ciência do calor? Toda evidência disponível indica que era pouco. Este ponto de vista foi expresso enfaticamente por um escritor da história da invenção da máquina a vapor, Robert Stuart Meikleham. No prefácio de seu livro *Descriptive History of the Steam Engine*, de 1824, escreveu ele: “Não conhecemos quem divulgou a expressão de que a invenção foi uma das maiores nobres dádivas que a ciência já dera à humanidade. O fato é que a ciência, ou os homens de ciência, jamais tiveram algo a ver com o assunto. Na verdade, não há máquina alguma nem maquinismo algum nos quais o pouco que os teóricos fizeram seja mais inútil. Ela surgiu, foi aperfeiçoada e aprimorada pelos mecânicos no trabalho – e só por eles” (LINDSAY, 1963, apud HARRY, 1987, p. 139).

Isto não significa que os primeiros industriais não estivessem constantemente interessados na ciência e em busca de seus benefícios práticos, o que acabou estimulando o desenvolvimento da ciência em geral e, especialmente, a que estava diretamente relacionada com a indústria.

Um dos fatores que influenciaram o processo que culminou na Primeira Revolução Industrial foi o desenvolvimento das atividades agrícolas na Inglaterra, que já estavam predominantemente dirigidas para o mercado e serviram como um mecanismo de acúmulo de capital. Com o desenvolvimento da agricultura, passou-se a produzir mais do que o necessário para o consumo local de acordo com as necessidades impostas pelo modelo de sociedade capitalista em formação. Os mercadores emergiram como grandes acumuladores de capital e foram os principais responsáveis pelos investimentos em indústrias.

Desde o século XVII, os mercadores foram construindo seu capital, através da compra de produtos por um valor mais baixo e sua respectiva venda por um valor bem mais alto e se consolidaram como grandes financiadores da Revolução Industrial. Assim, a sociedade inglesa viu emergir uma classe burguesa extremamente rica e uma classe trabalhadora extremamente pobre, o proletariado. E, também, através de um processo que os livros denominam de cercamento (do inglês *enclosures*) os senhores feudais cercaram suas terras e começaram a arrendá-las. Dessa forma, a terra passou a ser vista como um bem de produção. Isso contribuiu significativamente para que a população rural migrasse para as cidades em busca de trabalhos nas manufaturas, disponibilizando uma grande quantidade de mão-de-obra barata.

A questão da reforma protestante, que quebrou os elos que uniam a Inglaterra com a Igreja Católica, foi fundamental para contribuir no processo de acumulação de riquezas, necessária para dar o impulso inicial na indústria inglesa.

Um considerável volume de capital social elevado - o caro equipamento geral necessário para toda a economia progredir suavemente - já estava sendo criado,

principalmente na construção de uma frota mercante e de facilidades portuárias e na melhoria das estradas e vias navegáveis. A política já estava engatada ao lucro e tudo que os industriais precisavam para serem aceitos entre os governantes da sociedade era bastante dinheiro.

2.2.3. O surgimento das Fábricas

Mesmo antes do século XVII o modo de produção de bens em geral já havia modificado. Anteriormente, a produção era feita pela família do camponês e o propósito era, apenas, o de satisfazer as necessidades domésticas. Com o progresso das cidades, os camponeses que se especializaram em determinadas atividades abandonaram de vez a agricultura e puderam se dedicar a seus ofícios, não para satisfazer as necessidades, mas sim para atender à procura (HUBERMAN, 1981, p. 52). Surgia, assim, o artesão.

Com o tempo, os artesãos conseguiam acumular capital e investir. Começaram a surgir as oficinas, como relata Huberman (1981):

Naquela época, não era necessário grande capital para dar início a um negócio e começar a produzir. A unidade industrial típica da Idade Média era essa pequena oficina, tendo um mestre como empregador em pequena escala, trabalhando lado a lado com seus ajudantes. E não só esse mestre artesão produzia os artigos que tinha de vender, como também era ele mesmo que realizava a venda. Numa parede da oficina costumava haver uma janela aberta para a rua, onde se penduravam os artigos à venda e se realizava a venda mesma (HUBERMAN, 1981, p. 53).

A fabricação de tecidos e roupas era uma das atividades desenvolvidas pelos artesãos naquela época. No final do século XVII os artesãos ingleses usavam a lã como matéria prima para a fabricação de tecidos e roupas. Porém, no início do século XVIII, navios ingleses vindos do Oriente introduziram os tecidos feitos de algodão e que tiveram sucesso imediato. Os fabricantes locais tentaram criar

indústrias de imitação e, a partir daí, o algodão começou a entrar no país como matéria prima bruta. O problema era que os produtos ingleses eram muito mais caros do que os trazidos do Oriente, já que, como dito anteriormente, a produção nessa época era feita, basicamente, por artesãos em suas próprias casas. Além disso, os operários chineses tinham um nível de vida muito mais baixo e séculos de experiência. Criou-se assim uma necessidade: aumentar a produtividade e diminuir os custos, visando um lucro cada vez maior.

Então, para atender um mercado cada vez maior e oscilante, o sistema de produção evoluiu do sistema doméstico para o sistema fabril, em que toda a produção era realizada no edifício do empregador, com divisão do trabalho e rigorosa supervisão (HUBERMAN, 1981, p. 109). Nasceram, assim, as grandes fábricas têxteis, que concentravam a produção e transformavam artesãos criativos e liberais em operários dependentes, mecanizados e mal pagos.

Para aumentar a produção, as fábricas começaram a usar a força da água para girar grandes rodas d'água que, por sua vez, serviam como força motora dos Teares, cada vez maiores. Por essa razão, as primeiras fábricas foram sendo construídas próximas a rios e terrenos acidentados e as cidades foram acompanhando esse desenvolvimento. Mas as rodas d'água eram muito lentas e a produção era baixa. Com o desenvolvimento da máquina rotativa de Watt, por volta de 1770, os processos de produção tiveram uma evolução muito significativa e a produção aumentou bruscamente.

2.2.4. Algumas Consequências

O estado mais bem sucedido da Europa no século XVIII, a Grã-Bretanha, devia plenamente seu poderio ao progresso econômico e todos os governos continentais com qualquer pretensão a uma política racional estavam fomentando o crescimento econômico e, especialmente, o desenvolvimento industrial (HOBSEBORN, 2009, p. 14). As Ciências dedicavam-se a solução de problemas produtivos. Inicialmente, os maiores avanços foram na área da Química, que estava intimamente ligada às atividades de laboratório e às necessidades da indústria. Segundo Harry (1987):

A época do avanço científico durante os séculos XVI e XVII ofereceu algumas das condições para a Revolução Industrial, mas a conexão era indireta, geral e difusa – não apenas porque a ciência não estava ainda estruturada diretamente pelo capitalismo nem dominada pelas instituições capitalistas, mas também devido ao importante fato histórico de que a técnica desenvolveu-se antes e como requisito prévio para a ciência (HARRY, 1987, p. 138).

O "iluminismo", caracterizado pela convicção no progresso do conhecimento humano, na racionalidade, na riqueza e no controle sobre a natureza derivou sua força primordialmente do evidente progresso da produção, do comércio e da racionalidade econômica e científica que se acreditava estar associada a ambos (HOBSEBORN, 2009, p. 15).

A crença no progresso, defendida pelo típico pensador do iluminismo, refletia os aumentos visíveis no conhecimento e na técnica, na riqueza e no desenvolvimento da sociedade. “No começo do século, as bruxas ainda eram queimadas; no final, os governos do iluminismo, como o austríaco, já tinham abolido não só a tortura judicial mas também a escravidão” (HOBSEBORN, 2009, p. 16).

Na política, com exceção da Grã-Bretanha, que fizera sua revolução no século XVII, e alguns Estados menores, as monarquias absolutas reinavam em todos os

Estados em funcionamento no continente europeu. Os monarcas hereditários comandavam hierarquias de nobres proprietários, apoiados pela organização tradicional e a ortodoxia das igrejas. Porém, o sucesso internacional do poderio capitalista britânico levou a maioria destes monarcas (ou seus conselheiros) a tentar programas de modernização intelectual, administrativa, social e econômica. Como nos dias atuais, muitos dos que adotaram estes programas estavam mais interessados nos métodos mais modernos de multiplicação de suas riquezas e poder do que com as ideias do iluminismo e o bem estar da população em geral.

2.3. HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA: EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.3.1. O surgimento das máquinas térmicas

Há muito tempo o homem já sabe que os metais podem ser derretidos e moldados a altas temperaturas. Na idade média, eles eram forjados em pequenos fornos que usavam a lenha como combustível. Em seguida, passou-se a usar o carvão mineral extraído de minas pouco profundas. Porém, com o tempo, tornou-se necessário abrir caminho terra abaixo e logo surgiu um grande problema: constantemente as minas ficavam inundadas. Mas, então, como retirar a água do fundo das minas? Por volta de 1680, um físico francês chamado Denis Papin demonstrou que quando água é aquecida em um recipiente fechado uma enorme pressão é gerada. Baseado nesse princípio ele projetou (mas não construiu) a primeira máquina a vapor. As primeiras máquinas térmicas foram construídas, independentemente, pelos engenheiros Thomas Savery e Thomas Newcomen. Por volta de 1710,

Newcomen aperfeiçoou a máquina usando um esquema com cilindro e pistão. Essa máquina era usada para retirar a água das minas inundadas.

O maior problema das máquinas de Newcomen era o consumo. Siga o raciocínio: A energia gerada pela queima do combustível é usada para aquecer a água e, conseqüentemente, o cilindro. Como o cilindro é resfriado a todo o momento, poderia haver uma economia muito grande de combustível caso a condensação ocorresse em outro recipiente. Foi isso o que pensou James Watt, um engenheiro escocês, por volta de 1765. Ele também desenvolveu outras melhorias, como válvulas automatizadas e um sistema de engrenagens que permitia aproveitar o movimento de subida e descida do pistão para girar uma roda. As melhorias de Watt permitiram uma economia em torno de 75% no consumo das máquinas térmicas e elas passaram a ser usadas em fábricas têxteis, substituindo as rodas d'água que eram usadas anteriormente.

2.3.2. Estudos Teóricos: a Máquina de Carnot

Até o final do século XVIII o desenvolvimento da máquina térmica foi prático, ou seja, baseado em tentativas. Como relatou Landes (apud Harry, 1987):

Declara-se frequentemente que a máquina de Newcomen e suas precursoras teriam sido impensáveis sem as ideias teóricas de Boyle, Torricelli e outros; e que Watt tirou muito de sua competência técnica e imaginação de seu trabalho com os cientistas e instrumentos científicos de Glasgow. Há, sem dúvida, alguma verdade nisso, embora o quanto seja impossível dizer. Uma coisa é clara, contudo: uma vez que o princípio do condensador separado foi estabelecido, os subseqüentes avanços deveram pouco ou nada à teoria. Pelo contrário, todo um ramo da Física, a Termodinâmica, desenvolveu-se em parte como resultado das observações empíricas dos métodos de engenharia e execução (LANDES, 1981, apud HARRY, 1987, p. 139).

No início do século XIX, um jovem engenheiro francês chamado Nicolas Leonard Sadi Carnot se interessou pelas máquinas térmicas e começou a investigar teoricamente formas de melhorar seu rendimento e encontrar um limite para tal.

Em seus estudos Carnot observou que sempre que o calor flui espontaneamente de um corpo para outro, há perda de rendimento. Assim, ele concluiu que o rendimento de uma máquina térmica será tanto maior quanto se consiga evitar o contato entre a fonte quente (que fornece calor ao gás) e a fonte fria (que resfria o gás).

Buscando construir um motor perfeito, onde não existisse contato direto entre as fontes quentes e as fontes frias, Carnot imaginou uma máquina que pudesse operar em quatro fases:

Fase1: o gás, estando a uma temperatura inicial dentro de um cilindro com êmbolo, recebe calor de uma fonte quente (uma fornalha, por exemplo) e expande livremente, desprezando-se qualquer atrito entre o êmbolo e o cilindro. Nesta transformação, o gás não tem sua temperatura elevada, pois o calor recebido é usado para produzir trabalho;

Fase2: isolando termicamente o gás do ambiente (e parando de fornecer calor) o gás continua a se expandir, sem trocar calor com o ambiente. Assim, sua temperatura diminuirá até que o gás pare de expandir (devemos lembrar que a temperatura de um gás é inversamente proporcional ao seu volume);

Fase3: retirando o isolamento térmico do gás, ele libera calor para o ambiente e o êmbolo desce, sem que a temperatura do gás se altere. Neste caso, o trabalho realizado pelo êmbolo sobre o gás faz com que calor seja liberado para uma fonte fria (a atmosfera, por exemplo);

Fase4: voltando a isolar termicamente o sistema, o gás continuará a ser comprimido, fazendo com que sua temperatura volte ao valor inicial (o mesmo da fonte quente).

Entretanto, a máquina de Carnot é uma máquina que não pode ser construída, pois não é possível eliminar totalmente o atrito entre o êmbolo e o cilindro. Porém, a máquina de calor representa um limite máximo de rendimento que pode ser alcançado por uma máquina que usa uma fonte quente à determinada temperatura. Ou seja, se uma máquina opera recebendo calor de uma fonte quente à temperatura T_1 e rejeitando calor à uma fonte com temperatura T_2 , usando um ciclo qualquer, ela não poderá ter rendimento maior do que o calculado para uma máquina que opere usando o ciclo de Carnot.

Mais tarde outros cientistas teorizaram que uma máquina teria rendimento de 100% caso utilizasse uma fonte fria com temperatura de -273°C . Porém, esta temperatura não pode ser alcançada, pois representaria um estado em que todas as moléculas do gás estivessem em repouso.

2.3.3. O Conceito de Temperatura

O conceito de temperatura como conhecemos hoje (resultado do movimento de partículas de um corpo) só foi concebido em meados do século XIX, com as contribuições de Thomson, Clausius, entre outros. Até o final do século XVI existia, apenas, o conceito de quente e frio. A partir daí, e durante muito tempo, vários cientistas se dedicaram a quantificar essas sensações, sem se preocupar em definir o que realmente é a temperatura.

Galileu foi um dos primeiros a realizar experiências que pudessem quantificar essas sensações usando o princípio de o ar se expandir ao ser aquecido. Esse princípio havia sido descoberto por volta de 100 a.C., mas nunca havia sido aplicado.

Com o desenvolvimento da técnica de soprar vidro, começou-se um processo de aperfeiçoamento dos termômetros e Ferdinando II, o Grão Duque da Toscana, por volta de 1640 construiu um termômetro, baseado em álcool dentro de um tubo de vidro selado. A partir daí, foram várias as tentativas de padronizar os valores que eram marcados em cada termômetro e, assim, foram surgindo várias escalas termométricas.

Foi Newton quem primeiro sugeriu a utilização de dois pontos de referência. Porém, naquela época não existia razão para acreditar que a água tivesse propriedades especiais que pudessem ser reproduzidas e, mesmo se tivesse, não se encontrava gelo durante o ano inteiro. Assim, no início usou-se pontos subjetivos como “a temperatura do corpo humano”, “o frio do inverno mais severo” ou “o ponto do derretimento da manteiga”. Somente no final do século XVII os pontos de fusão e ebulição da água começaram a ser difundidos.

Como astrônomo, o dinamarquês Olaf Romer, estava acostumando a fazer medições utilizando o sistema sexagesimal (baseado em 60 unidades). Assim, ele sugeriu uma escala onde atribuiu os valores de 0° e 60° aos pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente. Como estava preocupado em realizar medidas da temperatura da atmosfera, e considerando que a temperatura em sua cidade era menor que 0°C , posteriormente ele resolveu atribuir o valor da menor temperatura medida em sua cidade como sendo o 0° , para evitar usar valores negativos em suas medições. Assim, a temperatura de fusão da água passou para

7,5° e o de ebulição para 52,5°. Tentando tornar os cálculos mais fáceis, atribuiu o valor de 8° para a temperatura de fusão da água e 53° para a temperatura de ebulição.

O físico alemão Daniel Gabriel Fahrenheit aprendeu muito sobre a construção de termômetros após passar uma temporada de estudos com Romer e aprimorou o termômetro construído por ele, realizando medidas quatro vezes mais precisas. Assim, para tornar os valores medidos em números inteiros, multiplicou por quatro os valores dos pontos de fusão e ebulição da água, dividindo o intervalo entre eles em 180 partes. Até hoje essa escala é muito utilizada em países de língua inglesa, adotando os valores de 32°F e de 212°F para os pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente.

A escala mais conhecida atualmente em nosso país (e também a mais usada no mundo), a Celsius (°C), foi concebida por volta de 1740 pelo astrônomo sueco Anders Celsius que, visando construir uma escala centesimal (baseada em 100 unidades) deu os valores de 100°C e 0°C aos pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente, e dividiu o intervalo em 100 partes. Posteriormente, devido às sugestões dos construtores dos termômetros, ele inverteu esses valores.

A escala mais utilizada em trabalhos científicos, é a escala Kelvin. Esta escala também é chamada de escala absoluta pois o valor expressado nesta escala está diretamente ligado ao movimento das moléculas do corpo (ou gás) do qual se pretende medir a temperatura. Ela foi criada por Willian Thomson (também conhecido como Lorde Kelvin) após estudar o comportamento dos gases. Nesta escala, o valor 0k, correspondente ao estado em que as moléculas do corpo estariam em total repouso, e equivale aproximadamente -273°C. Assim, a

temperatura de fusão da água corresponde à 273k e a temperatura de ebulição corresponde à 373k.

Assim, podemos estabelecer relações entre todas as escalas, de modo à poder comparar os valores medidos em cada uma delas.

2.3.4. O conceito de Calor

As primeiras ideias que se tem notícia sobre o conceito de calor são da Grécia Antiga. “O fogo foi considerado como um dos quatro elementos da matéria, propostos por Empédocles, como as raízes de todas as coisas” (BRITO, 2008, p. 56). Já Aristóteles via no calor e no frio, duas qualidades elementares da matéria, opostas e simétricas. Para ele o fogo era originado por um movimento de partículas extremamente pequenas e o calor era visto como uma propriedade de um corpo ser quente ao toque. Até hoje essa ideia faz parte do senso comum e é, inclusive, corroborada por vários dicionários. O dicionário online (Dicionário do Aurélio, 2014) traz o significado de calor, entre outras coisas, como: qualidade daquilo que é quente; temperatura elevada; tempo quente; os grandes calores do verão.

Pouco antes de 1700, George Ernst Stahl (químico e médico alemão) baseou-se nas ideias do alquimista alemão Johann Becher para fundamentar uma teoria sobre o calor. Pires (2011) apresenta as ideias de Stahl da seguinte forma:

Em 1667, o médico e químico alemão Georg Ernst Stahl propôs a teoria do flogístico (do grego: queimado), um elemento que possuía massa e que estava presente em todos os materiais combustíveis. Quando um objeto queima, ele libera flogístico e o corpo original fica reduzido a ingredientes mais elementares, ele acreditava. Substâncias que queimavam bem eram ricas em flogístico, e aquelas que não queimavam não continham esse elemento. (PIRES, 2011, p. 237).

Macquer (1778, apud BRITO, 2008) também resumiu essas ideias:

O flogisto deve ser tomado como o fogo elementar combinado e tornado num dos princípios constitutivos dos corpos combustíveis; sempre que o flogisto se combina com uma substância não inflamável, dá lugar a um novo composto capaz de se inflamar; o flogisto não tem a mesma afinidade para todas as substâncias; combina facilmente com os sólidos mas tem dificuldade em se combinar com os materiais fluidos leves e voláteis [...] (MACQUER, 1778, apud BRITO, 2008, p. 53).

Assim, estava explicado o fato de uma vela parar de queimar dentro de um recipiente fechado: o ar ficava saturado de flogístico e quando não conseguia mais absorvê-lo (como uma esponja) a combustão terminava.

Este conceito perdurou até 1760, quando um químico britânico chamado Joseph Black postulou novas ideias que seriam a base da teoria do calórico para explicar o calor. Segundo ele todos os corpos continham um fluido indestrutível e imponderável, cujas partículas constituintes eram auto repulsivas, mas atraídas pelos constituintes de outras substâncias (BRITO, 2008, p. 56). Essas ideias serviram para explicar diversos fenômenos físicos observados na época:

- Quando dois corpos são colocados em contato térmico, o calórico flui do corpo quente para o corpo frio;
- Quando em contato com o fogo, o corpo recebe mais calórico e este, por ser auto repulsivo, faz com que as dimensões do corpo aumentem.
- Os diferentes calores específicos das substâncias se deviam ao fato dele ser atraído de modo desigual pelas diferentes espécies da matéria.
- No estado sólido, uma substância continha o calórico em pequena porcentagem. Nos líquidos ela aumentava e se tornava maior ainda nos gases.

O famoso químico francês Antoine Laurent Lavoisier, considerado o pai da química moderna, chamou este fluido descrito por Black de calórico. Além disso, diferenciou o termo calórico do termo calor. Para ele:

O calor, considerado como uma sensação, é apenas o efeito produzido sobre nossos sentidos pelo movimento ou passagem do calórico, independente dos corpos à nossa volta. Quando tocamos um objeto frio, o calórico passa de nossa mão para o objeto que tocamos, o que nos dá a sensação de frio. O contrário acontece quando tocamos um corpo quente (LAVOISIER, apud PIRES, 2011).

Para ter ideia da importância dessa teoria, Lavoisier chegou a incluir em sua tabela periódica o elemento químico chamado “calórico”. Porém, o maior problema era que, segundo essa teoria, o calor deveria ser conservado. Com o advento da Revolução Industrial, a Termodinâmica passou a chamar atenção de vários setores da Física e alguns fatores levaram à por abaixo a teoria do calórico.

Pouco antes de 1800, Benjamin Thompson, o Conde de Rumford, fez algumas observações enquanto supervisionava a perfuração de canhões em uma fábrica. Ele percebeu que a água que era utilizada para resfriar os canhões durante o processo de perfuração chegava a temperaturas acima do ponto de ebulição. Além disso, o processo de aquecimento da água continuava enquanto houvesse atrito entre as peças e não havia qualquer alteração de peso nos corpos. Assim, ele concluiu: “aquilo que um corpo isolado ou um sistema de corpos pode continuar a fornecer sem limitação não pode ser uma substância material” (THOMPSON, 1798, apud BRITO, 2008, p. 57).

Em 1812, Humphrey Davy (físico e químico britânico) publicou um artigo onde concluiu que “a causa imediata dos fenômenos caloríficos é o movimento”. Lavoisier e Laplace também expressaram uma certa desconfiança quanto à teoria

do calórico, mas não obtiveram métodos suficientes para derrubá-la definitivamente.

Por volta de 1840, o médico alemão Julius Robert Von Mayer, publicou um trabalho propondo que o calor era uma manifestação de energia. Ele formulou suas ideias comparando o funcionamento do corpo humano ao de uma máquina térmica. De acordo com Pires (2011), Mayer:

Concluiu que o processo de combustão no corpo é o responsável pela produção de calor e trabalho. Ele também se deu conta que o movimento, via atrito, também produzia calor e que esse calor gerado indiretamente se misturava com o calor proveniente da combustão. Juntando os dois fatos, concluiu que os processos químicos no corpo produziam movimento, trabalho e calor que podiam ser convertidos uns nos outros (PIRES, 2011, p. 241).

Então, sugeriu que uma coisa, a qual chamou de força, que aparecia algumas vezes como calor e outras como movimento, era conservada. Além disso, classificou outros tipos de força, como a força de queda, de movimento, calor, magnetismo, eletricidade e a força da luz solar (PIRES, 2011, p. 241).

Porém, seu trabalho não foi levado a sério, como ressalta Brito (2009):

Todavia, como o seu trabalho fora realizado a partir de observações médicas, e não num laboratório de Física, foi de início amplamente ignorado pela comunidade científica, não lhe reconhecendo credibilidade, embora tenha sido publicado numa revista de mérito (os *Annalen der Chemie*), em 1842. Isso levou o seu autor a uma profunda depressão e à tentativa de suicídio. Tinha pouco mais de 30 anos (BRITO, 2009, p. 57).

Em 1845, o físico francês James Prescott Joule propôs um aparato para medir a relação entre o trabalho e o calor. A experiência consistia em colocar, dentro de um recipiente com água, um conjunto de hélices ligadas, através de roldanas, a dois pesos que caíam sob a ação da gravidade, fazendo aumentar a temperatura da água no recipiente devido ao movimento das hélices. Ele chegou à conclusão de que 1 cal (unidade de medida usada em medições de quantidade de calor) era igual a 4,154 J (unidade de medida usada em energia mecânica). Este valor tem um desvio de

apenas 1% em relação ao valor atualmente aceito. Assim, ele concluiu que se a energia potencial podia ser convertida em energia cinética, esta podia transformar-se em calor.

“Somente quando Willian Thomson (conhecido como Lorde Kelvin) reconheceu a importância do trabalho de Joule é que a ideia de conservação passou a ser aceita” (PIRES, 2011, p. 242).

Enfim, a ideia do que seja calor ou quantidade de calor passou por várias mudanças e recebeu vários nomes ao longo da história. Assim, Brito (2009) ressalta que o físico alemão Max Born estabeleceu uma definição precisa de quantidade de calor, que resulta da energia cinética global das moléculas de um corpo.

2.3.5. As Leis da Termodinâmica

Couberam aos físicos alemães Hermann Ludwig Von Helmholtz e Rudolf Julius Emanuel Clausius o enterro definitivo da teoria do calórico. Com um tratamento teórico e matemático preciso e minucioso, eles teorizaram que se calor e energia mecânica podem produzir trabalho, então são dois tipos de um mesmo fenômeno, designado energia.

Esse conceito inovador, abrangendo todas as formas de energia, veio a ser designado por Princípio da Conservação da Energia – num sistema isolado a energia total permanece constante quaisquer que sejam as transformações sofridas pelo sistema (BRITO, 2009, p. 58).

Este princípio também é conhecido como a Primeira Lei da Termodinâmica. Em seu livro “Sobre a Conservação da Energia”, Helmholtz faz a seguinte observação:

[...] chegamos à conclusão de que a natureza como um todo possui um estoque de energia que não pode de forma alguma ser aumentado ou reduzido; e que, por conseguinte, a quantidade de energia na natureza é tão eterna e inalterável como a quantidade de matéria. Expressa dessa

forma, chamei esta lei geral de Princípio da Conservação da Energia (HELMHOLTZ, 1847, apud PÁDUA et al, 2009, p. 96).

Segundo Pádua et al (2009) Clausius, em um primeiro momento, não forneceu expressões matemáticas para suas ideias. Foi somente por volta de 1890 que ele apresentou a expressão clássica da Termodinâmica:

$$dQ = dW + dU$$

Onde dQ representa um acréscimo de quantidade de calor à um sistema, dW o trabalho resultante e dU a variação da energia interna do sistema.

Foi Clausius um dos que também idealizaram o que hoje conhecemos como “Segunda Lei da Termodinâmica” em 1850. Analisando as ideias de Carnot sobre o rendimento de máquinas térmicas, ele concluiu que uma máquina a vapor era um mecanismo que absorvia calor de um reservatório quente e convertia parte dele em trabalho, lançando o restante em um reservatório frio. Ou seja, não existe qualquer sistema térmico perfeito que converta todo o calor em trabalho. Existe sempre uma determinada perda de energia. Assim, aplicando essas ideias ao processo de trocas de calor entre corpos, podemos dizer que o calor flui naturalmente do corpo quente para o corpo frio. O contrário só é possível com realização de trabalho (PIRES, 2011, p. 245).

Pádua et al (2009) se refere às importantes contribuições de Clausius nos anos seguintes:

Em 1854, introduziu o conceito de valor de equivalência de uma transformação térmica, medido pela relação entre a quantidade de calor e a temperatura na qual ocorria a transformação. Com esse conceito, ele distinguiu os processos reversíveis dos irreversíveis. Na transformação em que o calor fluía do corpo quente para o corpo frio, o valor de equivalência era positivo. Em 1865, propôs o termo entropia S para substituir o valor de equivalência (PÁDUA et al, 2009, p. 103).

Um ano depois que Clausius, Willian Thomson (o Lorde Kelvin) também propôs uma formulação da Segunda Lei: “Nenhum processo é possível em que o único

resultado seja a absorção de calor de um recipiente e a sua completa conversão em trabalho” (PÁDUA et al, 2009, p. 103).

No século XX, ganhou força a Teoria Cinética dos Gases e as definições de calor como uma forma de energia, como conhecemos hoje. Porém, devemos ter em mente que os processos que levaram às conclusões atuais não foram simples, quanto menos triviais.

3. METODOLOGIA

O produto final dessa dissertação consiste de material didático e uma sequência didática, que tem como foco o uso da HC como ferramenta para auxiliar o ensino de Física. O processo de construção, aplicação e avaliação dessa proposta não foi simples, mas pode ser estruturado da maneira mostrada a seguir que será detalhada logo abaixo:

1. Escolha do tema;
2. Construção do material didático;
3. Construção da sequência didática;
4. Aplicação da sequência didática;
5. Avaliação da sequência didática.

3.1. ESCOLHA DO TEMA

O tema “A Primeira Revolução Industrial e o desenvolvimento da Termodinâmica” foi escolhido, pois representa um dos maiores exemplos de como a Ciência e a Sociedade se inter-relacionam. Ou seja, é um ótimo exemplo de como a Ciência influencia nos rumos da humanidade como um todo, e vice-versa.

3.2. CONSTRUÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Este processo consistiu de uma revisão bibliográfica em livros de história geral – em particular o livro “A Era das Revoluções” – em livros e artigos sobre HC e em

livros de Física do ensino médio. A maioria dos desenhos que ilustram a apostila foi feita pela talentosa colega de trabalho, Camila Guidoni.

Procurou-se dar ênfase na contextualização do momento vivido na sociedade europeia ocidental em meados do século XVIII (principalmente na Grã Bretanha, onde a Revolução teve origem), nos impactos que a criação da máquina térmica de James Watt teve sobre os processos de produção e, conseqüentemente, na Primeira Revolução Industrial, no processo de desenvolvimento dos principais conceitos envolvidos na Termodinâmica (como temperatura, calor, primeira e segunda leis) e na influência dos interesses econômicos e sociais da época sobre esse desenvolvimento científico. O resultado final é uma apostila que está apresentada no apêndice A. Após as sugestões da banca examinadora, a apostila foi modificada e os resultados estão apresentados no apêndice C.

3.3. CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi elaborada de tal forma que fosse possível abordar a HC como eixo norteador interdisciplinar, focando não apenas os conceitos físicos, mas, também, os aspectos humano e social envolvidos na construção do conhecimento. Assim, o material didático elaborado foi usado como fonte principal de referência. Porém, foram usadas outras ferramentas (como vídeos documentários, discussões em grupo e aula expositiva). Esta sequência está apresentada no apêndice B. Inicialmente esta sequência seria aplicada por um professor voluntário, mas que não pode prosseguir com o trabalho por motivos de doença na família. Assim, solicitei a um colega de trabalho, que leciona nas turmas de segundo ano, que eu pudesse

aplicar o material em suas turmas. Acredito que o ideal seja que o próprio professor da turma aplique a sequência didática mas, devido à falta de tempo, eu ministrei as aulas, como se eu mesmo fosse o professor titular da turma. Após o término da sequência, o professor retornou suas atividades na turma normalmente, dando sequência nos conteúdos previstos no planejamento da disciplina.

A princípio, a sequência foi construída para ser aplicada em escolas que têm duas aulas de Física por semana, em dias diferentes. Então, com a mudança ocorrida, algumas adaptações se fizeram necessárias. Outras adaptações foram realizadas levando em consideração a diferença nos horários das turmas, os conhecimentos prévios dos alunos e as diferenças no tempo de aprendizado dos alunos.

3.4. APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi aplicada em uma escola da rede federal de ensino, situada em uma cidade do norte do Estado do Espírito Santo. A escola oferece cursos de ensino médio integrado ao técnico em Administração ou em Automação. Todas as turmas do segundo ano do ensino médio, duas do integrado ao técnico em Administração e duas do integrado ao técnico em automação, foram envolvidas no processo. Os alunos dessas turmas são adolescentes entre 15 e 16 anos. Relatos dos professores de outras disciplinas e as diferenças da própria grade curricular dos dois cursos indicam que há uma tendência mais humanística entre os alunos da Administração e, por outro lado, uma tendência mais científica entre os alunos da Automação. Para tentar vislumbrar melhor os resultados apresentados ao fim

do processo, irei identificar as turmas separadamente por turma 01 (T01), turma 02 (T02), turma 03 (T03) e turma 04 (T04).

As atividades foram desenvolvidas ao longo de 02 semanas, em 06 aulas, pois a disciplina de Física dispõe de 03 aulas semanais, de 50 minutos cada. As aulas são distribuídas em 02 dias diferentes, sendo 01 dia com 01 aula e outro dia com 02 aulas consecutivas. Essa particularidade motivou a primeira adaptação feita na sequência: devido ao fato de as turmas T01, T03 e T04 terem 02 aulas consecutivas nas primeiras aulas da semana eles realizaram as atividades 1, 2 e 3 já neste primeiro dia, durante as 02 aulas. Para facilitar, vou relatar os acontecimentos que se seguiram nessas turmas.

Na aula seguinte, os alunos fizeram a discussão em grupo, como previsto para a aula 03 da sequência. Os questionários foram devolvidos e os alunos se organizaram em grupos para discutir as questões apresentadas. Embora a maioria da turma tenha participado ativamente, alguns grupos ficavam constantemente dispersos, conversando sobre outros temas. Dessa forma, o professor precisou chamar a atenção dos alunos por diversas vezes, tentando motivá-los a discutir as questões da atividade proposta. Por várias vezes o professor foi questionado e se limitou a sugerir textos da apostila que pudessem ser tomados como base para responder às questões apresentadas. Talvez devido a essa postura dos alunos, o tempo da aula foi totalmente consumido com as discussões em grupo e não houve oportunidade para a apresentação oral. Por acreditar que tal fato não fosse atrapalhar no andamento da sequência, o professor resolveu seguir adiante com as atividades previstas.

Novamente foi necessário um ajuste na sequência, pois a aula seguinte seria, novamente, com duas aulas consecutivas e, talvez, não fosse adequado interromper a atividade proposta (aula expositiva do professor) no meio da aula para iniciar a avaliação proposta para a última aula. Assim, optou-se por usar as 02 aulas como aula expositiva. Esta atividade ocorreu normalmente, sem acontecimentos que mereçam ser destacados.

Por último, foi aplicado um questionário com questões discursivas, apresentado no ao final da sequência didática. Esta atividade durou 01 aula e todos os alunos entregaram a atividade a tempo. Também não houve nenhum acontecimento que mereça destaque.

Na turma T02 a distribuição das aulas é o contrário das outras já citadas, ou seja, a primeira aula da semana é isolada e as outras são geminadas. Por isso, o roteiro foi um pouco diferente.

No primeiro dia foram realizadas as atividades 1 e 2, como previsto na sequência. No segundo dia, quando haveriam 02 aulas consecutivas, foram realizadas as atividades 3 e 4. Novamente, alguns alunos se empenharam mais na atividade do que outros e não foi possível a apresentação oral das conclusões obtidas após as discussões.

Na semana seguinte – aula 04 – foi apresentada a aula expositiva em apenas 01 aula, como previa a sequência didática. Como esta turma era formada por uma quantidade menor de alunos, esta atividade foi bem proveitosa e, mesmo com tempo menor, foi possível abordar todo o conteúdo.

Assim, a última atividade foi realizada no dia que haveriam duas aulas consecutivas. Porém, todos os alunos realizaram a atividade em apenas 01 aula e foram liberados da aula seguinte – pois era a última aula do dia.

3.5. COLETA DE DADOS – AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Os questionários foram recolhidos e corrigidos. Foram atribuídas classificações diferentes para cada resposta, de acordo com o grau de acerto do aluno, de acordo com a seguinte classificação:

- Suficiente (SUF): resposta completa, de acordo com a resposta esperada para a questão;
- Incompleta (INC): contempla alguns aspectos da resposta esperada, mas não está totalmente de acordo;
- Insuficiente (INS): contempla poucos aspectos da resposta esperada;
- Não fez (NF): não respondeu a questão ou a resposta não contempla nenhuma característica da resposta esperada.

Foi atribuída uma pontuação diferente para cada questão, considerando a classificação anterior e o grau de relevância de cada pergunta. A classificação completa e a pontuação atribuída para cada questão estão apresentadas nas tabelas abaixo:

Quadro 01. Classificação das respostas na questão 01.

QUESTÃO 1		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Reconhece uma grandeza física; relaciona com o movimento das moléculas de um corpo.	0,2
Incompleto	Relaciona com o movimento das moléculas de um corpo.	0,1
Insuficiente	Não menciona a relação com o movimento das moléculas de um corpo.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 02. Classificação das respostas na questão 02.

QUESTÃO 2		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Reconhece um fluxo de energia; relaciona com a diferença de temperatura entre corpos.	0,3
Incompleto	Reconhece um fluxo de energia.	0,2
Insuficiente	Não menciona fluxo de energia.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 03. Classificação das respostas na questão 03a.

QUESTÃO 3ª		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Relaciona transformação de energia térmica em energia mecânica ou calor em trabalho e outras variantes.	0,3
Incompleto	Cita realização de trabalho.	0,1
Insuficiente	Não cita nenhum dos anteriores	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 04. Classificação das respostas na questão 03b.

QUESTÃO 3b		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Cita ao menos 05 das seguintes etapas: aquecimento da água; aumento da pressão no cilindro e/ou elevação do pistão; movimento de descida da haste; resfriamento do cilindro e/ou condensação do vapor; diminuição da pressão no cilindro e/ou descida do pistão; movimento de subida da haste; água acompanha a haste.	0,4
Incompleto	Cita 04 das etapas descritas.	0,2
Insuficiente	Cita 03 das etapas.	0,1
Não fez	Cita menos de 03 etapas ou não responde.	0

Quadro 05. Classificação das respostas na questão 03c.

QUESTÃO 3c		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Cita retirada de água das minas.	0,2
Incompleto	Não cita retirada de água das minas.	0
Insuficiente	Não cita retirada de água das minas.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 06. Classificação das respostas na questão 03d.

QUESTÃO 3d		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Cita ao menos duas outras possíveis aplicações, como movimentar teares, gerar energia elétrica ou movimentar trens e navios.	0,3
Incompleto	Cita apenas uma das outras possíveis aplicações.	0,2
Insuficiente	Não cita nenhuma outra possível aplicação.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 07. Classificação das respostas na questão 04.

QUESTÃO 4		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Relaciona com a conservação da energia total de um sistema.	0,4
Incompleto	Relaciona com uma fórmula matemática.	0,2
Insuficiente	Cita, apenas, a transformação de calor em trabalho.	0,1
Não fez	Não responde.	0

Quadro 08. Classificação das respostas na questão 05.

QUESTÃO 5		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Relaciona com a impossibilidade de converter toda energia recebida em trabalho.	0,4
Incompleto	Cita gastos e/ou perdas de energia para o ambiente.	0,2
Insuficiente	Não cita nenhum conceito relacionado aos anteriores.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 09. Classificação das respostas na questão 06.

QUESTÃO 6		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Responde que não é possível e cita a 2º Lei ou as suas consequências.	0,3
Incompleto	Responde que não é possível, mas não justifica adequadamente.	0,1
Insuficiente	Responde que sim.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 10. Classificação das respostas na questão 07.

QUESTÃO 7		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Responde que não acredita e cita a máquina de Carnot e seu limite máximo de rendimento.	0,4
Incompleto	Responde que não acredita e cita a máquina de Carnot (mas não cita o limite máximo de rendimento).	0,2
Insuficiente	Responde que não acredita, mas não justifica adequadamente.	0,1
Não fez	Responde que acredita ou não responde.	0

Quadro 11. Classificação das respostas na questão 08.

QUESTÃO 8		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Responde que é possível, cita uma transformação isotérmica e/ou transformação do calor recebido em trabalho e/ou o aumento do volume do cilindro.	0,3
Incompleto	Responde que é possível, mas não justifica adequadamente.	0,1
Insuficiente	Responde que não é possível.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 12. Classificação das respostas na questão 09.

QUESTÃO 9		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Cita ao menos 02 nomes ou sobrenomes de cientistas envolvidos, como Newcomen, Watt, Papin, Galileu, Von Mayer, Celsius, Kelvin, Von Helmholtz, entre outros.	0,3
Incompleto	Cita apenas 01 nome.	0,2
Insuficiente	Não cita nenhum nome corretamente.	0
Não fez	Não responde.	0

Quadro 13. Classificação das respostas na questão 10.

QUESTÃO 10		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Cita ao menos 04 das seguintes características: migração da população do campo para a cidade; mecanização dos processos; uso da máquina a vapor; surgimento de indústrias; aumento da produção; diminuição dos custos; transporte ferroviário.	0,4
Incompleto	Cita 03 das características.	0,3
Insuficiente	Cita 02 das características	0,1
Não fez	Cita menos de 02 características ou não responde.	0

Quadro 14. Classificação das respostas na questão 11.

QUESTÃO 11		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Responde que sim, relaciona a criação e o desenvolvimento da máquina térmica ao aumento dos lucros das empresas e/ou ao aumento da produção e/ou à diminuição dos custos.	0,4
Incompleto	Responde que sim, mas cita apenas a criação da máquina térmica.	0,3
Insuficiente	Responde que sim, mas não justifica adequadamente.	0,1
Não fez	Responde que não ou não responde.	0

Quadro 15. Classificação das respostas na questão 12.

QUESTÃO 12		
CLASSIFICAÇÃO	RESPOSTAS ESPERADAS	PONTOS
Suficiente	Responde que sim, relaciona a necessidade de aumentar os lucros e/ou aumentar a produção e/ou diminuir os custos, à necessidade de desenvolver a máquina térmica e o desenvolvimento dos conceitos da Termodinâmica.	0,4
Incompleto	Responde que sim, mas cita apenas o desenvolvimento da máquina térmica.	0,3
Insuficiente	Responde que sim, mas não justifica adequadamente.	0,1
Não fez	Responde que não ou não responde.	0

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. A PESQUISA EM ENSINO

As pesquisas na área de ensino envolvem processos que, muitas vezes, não podem ser quantificados adequadamente. Mesmo quando quantificados, esses números podem não refletir toda a variedade de fenômenos e processos que ocorrem durante o evento que se deseja pesquisar e os resultados finais podem não refletir adequadamente os pontos positivos e negativos do processo como um todo. Assim, cabe ao pesquisador optar por dar um foco quantitativo ou qualitativo à sua pesquisa. Esses focos não são excludentes, pelo contrário, podem se complementar como ferramentas úteis ao processo investigatório.

De acordo com Neves (1996):

Enquanto estudos quantitativos geralmente procuram seguir com rigor um plano previamente estabelecido (baseado em hipóteses claramente indicadas e variáveis que são objeto de definição operacional), a pesquisa qualitativa costuma ser direcionada, ao longo de seu desenvolvimento; além disso, não busca enumerar ou medir eventos e, geralmente, não emprega instrumental estatístico para análise dos dados; seu foco de interesse é amplo e parte de uma perspectiva diferenciada da adotada pelos métodos quantitativos (NEVES, 1996, p. 01).

E, também, Segundo Marandino et al (2009):

Na perspectiva qualitativa, os caminhos que norteiam o conhecimento científico visam à apreensão de processos acima do método, isso é, privilegia-se a informação interpretativa sobre a realidade, que está centrada na construção de dados. Se por um lado tem-se um sujeito que traz indagações de pesquisa a partir de suas concepções de mundo, por outro, o objeto é também um objeto-sujeito que fala e se posiciona conforme o seu contexto histórico-social (MARANDINO et al, 2009, p. 03).

O conceito de subjetividade está sempre atrelado às pesquisas qualitativas. Assim, não há como separar o pesquisador de seu objeto de estudo e o mesmo influencia nos resultados da pesquisa. Ou seja, o pesquisador tem um papel central na

pesquisa e os métodos e técnicas escolhidos por ele para analisar os dados o auxiliam a ter uma visão mais crítica sobre o fenômeno.

De acordo com Moreira e Rosa (2013) são vários os eventos que podem constituir objetos de estudo em educação, dentre eles:

Uma aula expositiva, um procedimento de avaliação, um novo currículo, a influência de uma certa variável sobre a aprendizagem, características e comportamentos do professor, o desempenho do aluno em um experimento de laboratório, são exemplos de eventos que interessam à pesquisa em ensino (MOREIRA E ROSA, 2013, p. 14).

Ainda segundo Moreira e Rosa (2013):

Esses eventos ocorrem naturalmente ou são produzidos pelo pesquisador que faz, então, registros do evento. Uma gravação em vídeo de uma aula, ou parte dela, é uma maneira de registrar esse evento. Anotações em uma ficha de observação ou de controle, transcrições de entrevistas, mapas conceituais, respostas a testes, são também exemplos de registros de eventos. Registros são indispensáveis para o estudo de eventos e, de certa forma, desencadeiam um processo que levará a asserções de conhecimento sobre o que foi investigado (MOREIRA E ROSA, 2013, p. 14).

Os testes aplicados no primeiro dia de atividades tiveram resultados muito ruins. Na verdade, este teste tinha como finalidade principal a verificação dos conhecimentos prévios dos alunos. Como a imensa maioria deles ainda não haviam estudado esta matéria, a maioria dos alunos respondeu que não sabia as respostas dos questionamentos. Assim, fazer comparações quantitativas quanto aos acertos desse teste com os acertos do teste aplicado ao final da sequência didática não seriam conclusivos. Dessa forma, optou-se por fazer uma análise qualitativa, abordando os aspectos positivos e negativos que ocorreram durante a aplicação das atividades.

4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quanto aos resultados do Teste 1 – aplicado na primeira atividade e respondido por 98 alunos – podemos fazer algumas observações:

- 1) Aproximadamente 72% dos alunos responderam que já haviam lido algum texto relacionado à HC. A maioria relatou que eram textos que estavam incluídos nos livros didáticos. Porém, o foco principal dos textos era, quase sempre, relacionado à biografia de cientistas (indicado por 62% dos alunos) ou às descobertas científicas (indicado por 69% dos alunos). Apenas 4% disseram que o foco principal do texto era a relação entre ciência e sociedade.
- 2) Muitos alunos não conseguem definir corretamente os conceitos de temperatura e calor. A confusão entre esses dois conceitos é muito grande e por diversas vezes são associados à sensação térmica. Cerca de 29% deram uma resposta considerada “suficiente” – de acordo com a tabela apresentada anteriormente – quando questionados sobre o conceito de temperatura. Quanto ao conceito de calor, este número foi ainda menor, com apenas 7% respondendo corretamente. Vários alunos, cerca de 40%, conseguiram associar calor à transferência de energia mas não deixaram claro que essa transferência seria devido à diferença de temperatura entre os corpos.
- 3) Pelo menos 98% dos alunos não souberam responder sobre máquinas térmicas ou sobre as Leis da Termodinâmica. Isso é bem compreensível se levarmos em conta que são alunos do segundo ano do ensino médio que

estavam iniciando o terceiro bimestre e que o conteúdo de Termodinâmica é abordado, apenas, no terceiro bimestre.

Já com relação aos resultados do questionário aplicado ao final da sequência didática (Teste 2), a tabela a seguir apresenta a distribuição de frequência das notas dos alunos, separados por turma e agrupados em 5 grandes faixas entre 0 (menor nota) e 5 (nota máxima).

Tabela 01. Intervalo de frequências.

Turma	Intervalos de frequência				
	$0 \leq x < 1$	$1 \leq x < 2$	$2 \leq x < 3$	$3 \leq x < 4$	$4 \leq x \leq 5$
T01	0	1	2	16	13
T02	0	1	6	9	2
T03	5	2	16	10	3
T04	0	4	12	12	5
Total	5	8	36	47	23
Total (%)	4,2	6,7	30,3	39,5	19,3

Os dados indicam que houve bom aproveitamento com relação à avaliação da aprendizagem, já que aproximadamente 60% dos estudantes conseguiram média superior à 60%. Podemos comparar este resultado aos resultados do PAEBES (Programas de Avaliação da Educação Básica do Espírito Santo) onde no ano de 2011 aproximadamente 55% dos alunos foram avaliados com padrão de desempenho de proficiência abaixo do básico na área de Física. Esse nível corresponde aos alunos que obtiveram uma pontuação inferior a 250 pontos em um total de 500 (ESPÍRITO SANTO, 2012).

Se considerarmos algumas questões específicas – como as que tratavam do conceito de temperatura, calor, máquinas térmicas e Leis da Termodinâmica, percebemos que houve um avanço considerável – basta lembrar-se dos comentários anteriores que relatavam a dificuldade dos alunos em discutir esses questionamentos no Teste 1.

Além disso, na turma T01 o desempenho dos alunos foi realmente impressionante, já que aproximadamente 90% da turma obteve desempenho superior à 60%. Porém, é necessário destacar que esta turma é reconhecida por vários professores da escola devido ao bom desempenho em vários conteúdos lecionados.

Do mesmo modo, se faz necessário destacar que a única turma que apresentou mais de 50% de alunos com desempenho inferior à 60 % é reconhecida por não ter um bom desempenho em avaliações. Esta turma é formada por vários alunos repetentes, outros que frequentam às aulas como dependência e tantos outros que apresentam problemas disciplinares. Além disso, alguns alunos não presenciaram às aulas que precederam à avaliação – exatamente os 5 que obtiveram desempenho inferior à 10%. Mesmo assim, o desempenho dessa turma não foi de todo ruim, já que aproximadamente 27% dos alunos conseguiram alcançar média acima dos 60%. Outro aspecto positivo é que, mesmo não tendo alcançado um resultado acima da média, vários alunos se mostraram animados com o conteúdo trabalhado e participaram ativamente das aulas. Durante a atividade que consistia em assistir aos vídeos/documentários os alunos pediam para parar constantemente para fazer questionamentos e observações. Essa turma é de um curso técnico de administração integrado ao ensino médio e os alunos fizeram várias observações relacionando o desenvolvimento das indústrias ao desenvolvimento da sociedade

e da ciência. Se considerarmos apenas as questões que versam sobre estas análises, percebemos que mais de 80% dos alunos obtiveram média superior à 50%.

Aliás, a receptividade em sala de aula foi positiva em todas as turmas. A única turma que não se mostrou tão receptiva no começo foi justamente aquela que obteve melhor desempenho. Isso pode ter acontecido devido à arrogância de alguns alunos em achar que não precisavam saber aquilo. Muitos deles acreditavam que a Física deveria se resumir à formulas e exercícios de fixação – como muitos deles comentaram no dia que se deu início à sequência didática. Esta postura é relativamente comum em vários alunos do ensino médio, principalmente devido à cultura da “aprendizagem mecânica” que ainda impera em nosso país. Felizmente, após responderem ao questionário e após uma conversa inicial, muitos deles perceberam a importância de se discutir a Física além das fórmulas e relacionar o conhecimento científico com as diversas áreas do conhecimento – inclusive englobando áreas como: política, economia e sociologia. Após assistirem aos vídeos, praticamente todos se interessaram e perguntaram bastante durante à apresentação expositiva do professor.

Considerando as questões, em particular aquelas nas quais os alunos tiveram mais dificuldade podemos identificar e analisar quatro questões que representaram grandes problemas para os alunos, já que mais de 30% tiveram suas respostas caracterizadas como incompletas ou que não fizeram a questão. São elas:

Questão 3d (43% tiveram suas respostas caracterizadas como incompletas ou não responderam à questão): Esta questão solicitava que os alunos descrevessem outras possíveis aplicações para uma máquina térmica, que não fosse a retirada

de água das minas de carvão. Neste caso os alunos poderiam ter citado a utilização da máquina em fábricas e qualquer tipo de motor que funcione à combustão, como trens e navios a vapor, automóveis, geradores de energia elétrica, etc. Infelizmente, a sequência didática parece não ter abordado este tema de forma eficiente. Esta é uma possível falha que deve ser corrigida em futuras aplicações e pode ser incluída na apostila ou mesmo na apresentação expositiva do professor.

Questão 7 (43% tiveram suas respostas caracterizadas como incompletas ou não responderam à questão): Nesta questão os alunos deveriam analisar a situação de uma máquina térmica que teria um rendimento maior do que o rendimento de uma máquina de Carnot que opere com as mesmas temperaturas. Assim, os alunos deveriam responder se é possível ou não existir uma máquina térmica com tais especificações e justificar sua resposta. Vários alunos que responderam de forma equivocada, ou seja, que disseram que tal máquina poderia existir, basearam suas respostas no estágio atual de desenvolvimento tecnológico existente em nossa era. Nas palavras dos mesmos, “hoje em dia a tecnologia avançou muito e os limites de Carnot já foram ultrapassados” ou “as máquinas de hoje são mais avançadas que as máquinas de Carnot”. Assim, este é outro ponto que pode ser reforçado, principalmente durante a apresentação do professor.

Questão 8 (63% tiveram suas respostas caracterizadas como incompletas ou não responderam à questão): Nesta questão os alunos deveriam dizer se é ou não possível que, em uma transformação, um gás preso dentro de um cilindro receba calor sem aumentar sua temperatura. Neste caso, acredito que o alto índice de erro se deve ao fato da confusão gerada entre o que é uma “transformação gasosa” e o um “ciclo gasoso”. Talvez devesse ficar mais claro na questão que esta

transformação seria, apenas, uma das etapas de um ciclo completo pelo qual o gás deveria passar. Outra possibilidade é fazer essa diferenciação entre transformação e ciclo na apostila e na apresentação do professor.

Questão 10 (59% tiveram suas respostas caracterizadas como incompletas ou não responderam à questão): Nesta questão os alunos deveriam citar as características que marcaram a Primeira Revolução Industrial. O alto índice de erros nesta questão pode ser devido ao fato de os alunos acreditarem que não iria surgir uma questão como essa, já que a sequência didática foi aplicada dentro da disciplina de Física. E, também, pode ter havido uma cobrança excessiva, já que se o aluno citasse apenas duas das características principais, sua resposta era caracterizada como insuficiente. Talvez isso possa ser resolvido modificando a questão, de forma que seja explicitada a quantidade de características necessárias.

5. CONCLUSÃO

Considerando a análise dos dados obtidos e o acompanhamento do processo como um todo, desde a apresentação aos alunos até a avaliação da aprendizagem, podemos afirmar que a História da Ciência se mostrou uma ótima ferramenta para o ensino de Física.

Este trabalho não visa comparar métodos para conduzir o processo de ensino/aprendizagem. Ou seja, a finalidade não é comparar o ensino baseado em problemas, utilização de experimentos e de simuladores ou qualquer outro método com a utilização da HC. A finalidade é propor um método diferente, que pode, inclusive, ser utilizado em conjunto com qualquer outro método.

Assim, podemos inferir que a sequência didática aplicada, bem como a apostila utilizada, tiveram seus objetivos alcançados, uma vez que os resultados obtidos no Teste 2 sugerem que houve, em grande parte, um avanço no processo de aprendizagem, tanto nos conceitos relacionados à Termodinâmica, quanto nas discussões ligadas à importância de relacionarmos as descobertas científicas e suas respectivas contribuições ao desenvolvimento de todos os setores da sociedade – cultural, social e econômico, por exemplo.

Porém, devemos lembrar que este processo é contínuo e não pode se restringir a uma pequena abordagem introdutória de um conteúdo específico. A importância de se discutir a história da ciência e as inter-relações entre ciência e sociedade não pode ser desprezada e deve ser incorporada ao conteúdo, sempre que possível, assim como indicam os PCN.

Particularmente, percebo que todo o processo, desde a construção do material didático e da sequência didática, passando pela aplicação da sequência em sala de aula até a análise dos dados e discussão dos resultados, influenciou positivamente meu trabalho em sala de aula. Desde então procuro estruturar melhor minhas aulas, tentando, sempre que possível, abordar aspectos históricos, sociais e econômicos relacionados com o conteúdo trabalhado. Além disso, procuro considerar os conhecimentos já adquiridos pelos alunos e adaptar as novas informações à sua realidade.

Infelizmente, a inserção dessas discussões no planejamento, desenvolvimento e apresentação dos conteúdos de Física, e de outras áreas da ciência, ainda enfrenta muitas dificuldades no Brasil. Como destaca Martins (2007), as maiores dificuldades relatadas pelos professores são:

- Falta de material didático adequado;
- Currículo escolar e exames vestibulares – os professores se sentem pressionados a seguir os conteúdos previstos em livros didáticos, quase sempre visando ao livro didático;
- Carga horária reduzida – muitas escolas oferecem apenas duas aulas semanais de Física;
- Falta de formação e preparo dos professores – em geral, os cursos superiores não oferecem a formação necessária para que os professores desenvolvam atividades que incluam a HC no ensino;
- Apego ao tradicionalismo – alunos, professores e a própria escola são resistentes às propostas de inovação do ensino.

Com relação a este último tópico, nós, professores, somos testemunhas da cultura enraizada em vários colegas, e até mesmo em alunos, de que a Física deve se preocupar em trabalhar fórmulas e resolução de exercícios. Quando convidados a planejar uma atividade diferente, que leve em consideração tais aspectos históricos, muitos ficam receosos e, por que não dizer, esnobam tais ações – como ocorrido em uma das turmas onde a sequência foi aplicada. Porém, o desenvolvimento do processo relatado neste trabalho parece demonstrar que estes preconceitos podem ser vencidos e atividades que envolvam história da ciência possam ser conciliados com atividades de cunho mais conteudista, de forma a complementar todo o processo de ensino/aprendizagem.

Outro problema relatado que afeta a todos os professores de Física na educação básica é a quantidade de aulas durante a semana. Em algumas escolas são apenas duas. Assim, o vasto conteúdo previsto para ser abordado durante o ano acaba por “espremer” o calendário de aulas e atividades mais planejadas acabam ficando em segundo plano.

Acredito que outras atividades podem ser desenvolvidas para utilizar a HC como ferramenta de apoio ao ensino de Física. Várias teorias e leis que foram desenvolvidas ao longo dos anos tiveram impactos significativos sobre a sociedade e discutir suas inter-relações pode ser um objeto de estudo muito interessante. Áreas como Astronomia, Eletricidade e Física Moderna mexeram e mexem até hoje com o imaginário das pessoas e suas descobertas influenciaram e continuam influenciando no modo como enxergamos o mundo à nossa volta. Outra possível linha de pesquisa pode ser apresentar a história da ciência no formato de histórias em quadrinho – principalmente para alunos que estão concluindo o ensino

fundamental e tem o primeiro contato com a Física. Estas são ideias que já estão sendo desenvolvidas e iniciadas em outros projetos de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Tradução de Lígia Teopisto. 1. Ed. Lisboa: Paralelo Editora, 2003. 243p.
- AZEVEDO, M. C.; PIETROCOLA, M. Análise de uma sequência didática de Física a partir da Teoria das situações de Brousseau. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, 2008, **Anais eletrônicos**. Disponível em <http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/_analisedeumasequenciadid.trabalho.pdf> Acesso em 16/01/2014.
- BALDOW, R.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. Os livros didáticos de Física e suas omissões e distorções na história do desenvolvimento da Termodinâmica. **Alexandria** (UFSC), v. 3, p. 3-18, 2010.
- BASSALO, J. M. F. A Importância do Estudo da História da Ciência. **Revista da SBHC**, n.8, p. 57-66, 1992.
- BELTRÃO, T. M. S. Uma análise da transposição didática externa com base no que propõem documentos oficiais para o ensino de gráficos estatísticos. **Revista Paranaense de Educação Matemática**, v. 1, p. 131-152, 2012.
- BRASIL. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional – LDB Lei nº 9394/96**. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>. Acesso em 01 de Junho de 2013.
- _____. **Parâmetros curriculares nacionais do ensino médio**, 2000. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em 01 de Junho de 2013.

- BRITO, A. S. “Flogístico”, “Calórico” e “Éter”. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, Portugal, v. 20, n.3/4, p. 51-63, 2008.
- CARRAHER, D. W.; SCHLIEMANN, A. D. Caminhos e descaminhos no ensino de ciências. **Ciências e cultura**, v. 37, p. 889-896, 1985.
- DIAS, P. M. C. À procura do trabalho perdido. **Revista Brasileira de Ensino de Física** (Impresso), v. 29, p. 493-498, 2007.
- DICIONÁRIO DO AURÉLIO, Disponível em: [<http://www.dicionariodoaurelio.com/>] Acesso em 21/01/2014.
- DUARTE, M. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência e Educação** (UNESP), Bauru, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.
- ESPÍRITO SANTO. SECRETARIA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO. PAEBES 2011. Revista PEDAGÓGICA: CIÊNCIAS DA NATUREZA 3ª SÉRIE DO ENSINO médio. 2012.
- HARRY, B. **Trabalho e capital monopolista: a degradação do trabalho no século XX**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Zahar, 1987.
- HARTMANN, A. M.; ZIMMERMANN, E. O trabalho interdisciplinar no ensino médio: a reaproximação das duas culturas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, p. 1-16, 2007.
- HOBBSAWN, E. J. **A era das revoluções – 1789 – 1848**. São Paulo, SP: Editora Paz e Terra, 2009.
- HUBERMAN, L. **História da riqueza do homem**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Zahar, 1981.

- HÜLSENDEGER, M. J. V. C. A história da ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino da Física. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências** (Impresso), v. 9, p. 191-205, 2007.
- JACOBUCCI, D. F. C. Contribuições dos Espaços Não-formais de Educação para a Formação da Cultura Científica. **Em Extensão** (Uberlândia), v. 7, p. 55-66, 2008.
- LEITE, M. S. **Contribuições de Basil Bernstein e Yves Chevallard para da discussão do conhecimento escolar**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-graduação em Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- _____. Epistemologia e constituição dos saberes escolares: contribuições da teoria da transposição didática. In: XII Endipe - Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino - Conhecimento local e conhecimento universal, 2004, Curitiba. **Anais do XII Endipe** - Conhecimento local e conhecimento universal. Curitiba: Endipe, 2004. p. 1-14.
- MARANDINO, M.; MARTINS, L. C.; GRUZMAN, C.; CAFFAGNI, C. W. A.; ISZLAJI, C.; CAMPOS, N. F.; MONACO, L. M.; SALGADO, M. M.; SENAC, A. M.; BIGATTO, M. A abordagem qualitativa nas pesquisas em educação em museus. In: VII ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. **Anais do Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências**, 2009. v. 1.
- MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

- MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 9, p. 3-5, 1990.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, n. 12, p. 164-214, dez. 1995.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária, 1999. 195p.
- MOREIRA, M. A.; ROSA, P. R. S. **Uma introdução à pesquisa quantitativa em ensino**. 1. ed. Campo Grande: Editora da UFMS, 2013. v. 1. 110p
- MEIRELES, A. D.; CUNHA, D. E. S. L.; MACIEL, E. M. Estudo de Caso na Pesquisa Qualitativa em Educação: Uma Metodologia. In: VI Encontro de Pesquisa em Educação (EDUFPI), Teresina, 2010.
- NEVES, J. L. Pesquisa Qualitativa – Características, Usos e Possibilidades. **Caderno de Pesquisas em Educação**, São Paulo, v.1, n. 3, p. 1-5, 1996.
- NEVES, M. C. D. O Uso da História da Ciência no Ensino de Física. **Ciência e Educação** (UNESP), Bauru, v. 5, n.1, p. 73-82, 1998.
- NICOLI JUNIOR, R. B.; MATTOS, C.R. As diferentes abordagens do conteúdo de Cinemática nos livros didáticos do ensino de Ciências brasileiro (1810-1930). **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Espanha, p. 199 - 225, 01 mar. 2008.
- PÁDUA, A. B.; PÁDUA, C. G.; SILVA, J. L. C. **A história da Termodinâmica Clássica: uma ciência fundamental**. Londrina, PR: Editora Eduel, 2009.

PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a Primeira Lei da Termodinâmica.

Revista Brasileira de Ensino de Física (Impresso), v. 31, p. 3603-1-3603-8, 2009.

PEREIRA, G. J. S. A. e MARTINS, 258 A. F. P. A inserção de disciplinas de conteúdo histórico-filosófico no currículo dos cursos de licenciatura em Física e em Química da UFRN: uma análise comparativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, p. 229-258, 2011.

PIRES, A. S. T. **Evolução das ideias da Física**. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2011.

QUINTAL, J. R.; Guerra, Andreia. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. **A Física na Escola** (Impresso), v. 10, p. 21-25, 2009.

ROSA, C. T. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: tendências e desafios para a prática docente. **Revista Iberoamericana de Educación** (Online), v. 43, p. 431, 2007.

_____. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. REEC. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Espanha, v. 4, n.1, p. 1-18, 2005.

SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2006.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, p. 383-396, 2008.

APÊNDICE A

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

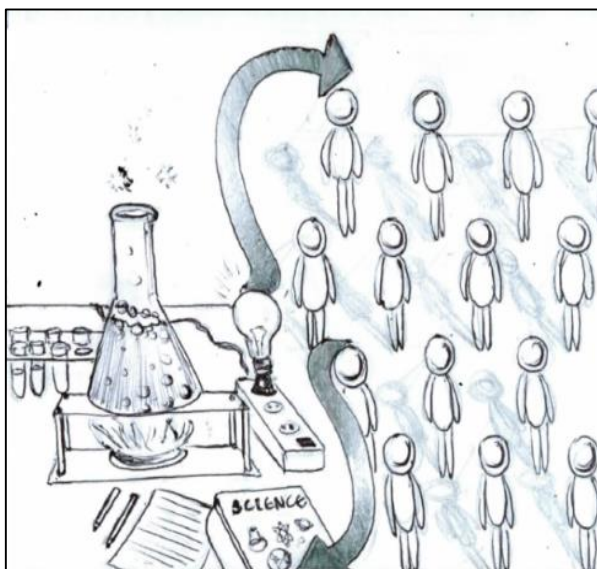
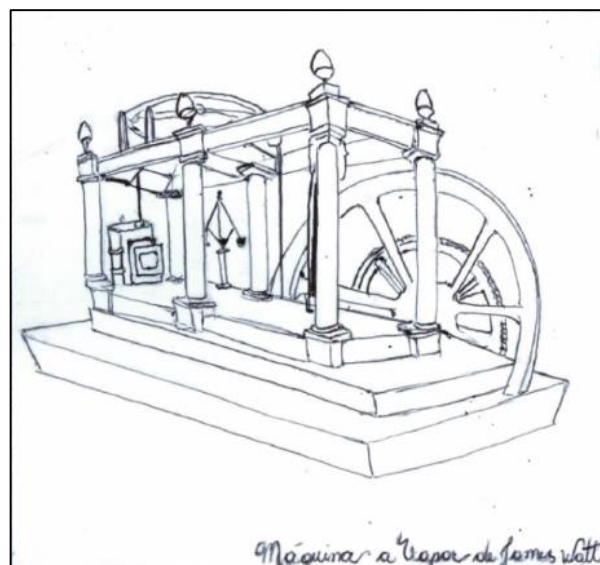
**A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL
E O DESENVOLVIMENTO DA
TERMODINÂMICA**

CLEIDSON VENTURINE

2013

1. Introdução

A primeira revolução industrial, ocorrida, principalmente, na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX constitui, talvez, a maior transformação da história humana desde os tempos remotos, quando o homem inventou a agricultura e a metalurgia, a escrita, a cidade e o Estado. Esta revolução transformou, e continua a transformar, o mundo inteiro. É claro que vários fatores contribuíram para que ela acontecesse, mas um dos principais fatores foi o desenvolvimento da Termodinâmica e, principalmente, da máquina térmica.

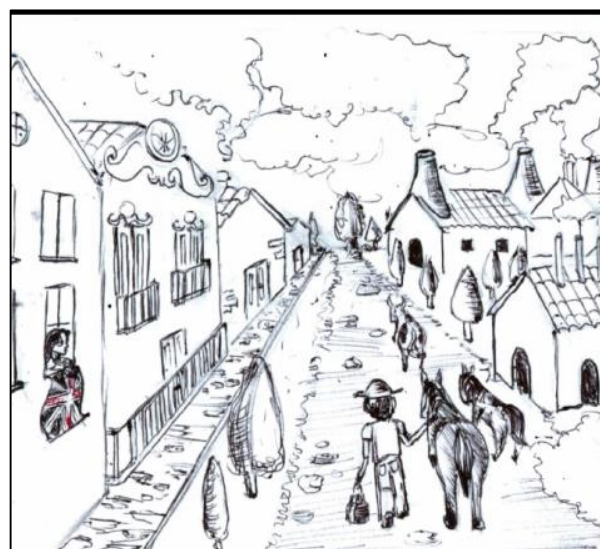


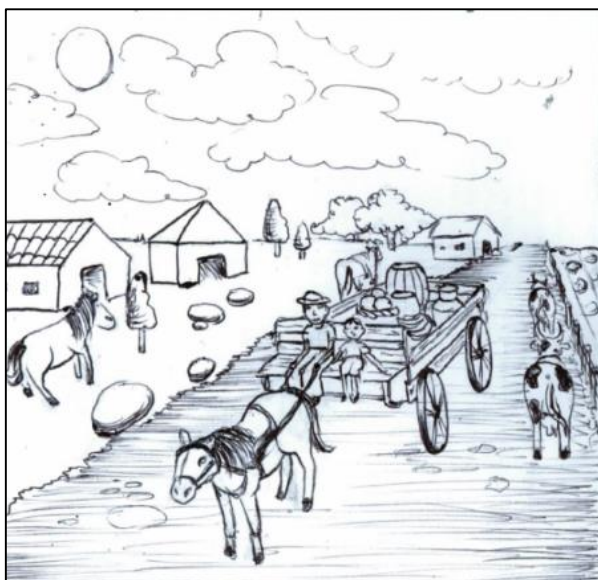
Contextualizar histórica, social e economicamente o período que compreende o desenvolvimento das Leis da Termodinâmica pode contribuir significativamente para que possamos entender as relações entre a Ciência e a Sociedade e como elas se influenciam. Além disso, entender essas relações e conhecer como se deu a construção do conhecimento que levou ao desenvolvimento dos conceitos e das Leis relacionadas à Termodinâmica pode contribuir para a motivação do aluno em estudar Física e, assim, contribuir para o processo de ensino/aprendizagem envolvendo o mesmo.

2. O Velho Mundo no século XVII (antes da Revolução Industrial)

Nesta época o mundo era, ao mesmo tempo, muito maior e menor do que o nosso. Era muito menor, pois até mesmo os mais aventureiros dos homens conheciam apenas uma pequena fração do mundo habitado.

Para os “homens normais”, cidadãos comuns das cidades, esse conhecimento era ainda menor. E, também, demograficamente, já que a população do planeta não era muito maior do que 1/3 da atual (na prática, não há dados demográficos concretos, já que naquela época não existia nenhuma





O transporte por água era, geralmente, mais fácil, barato e rápido. Dessa forma, a maioria das cidades se desenvolviam próximas aos portos. Podemos dizer que a cidade de Hamburgo – região litorânea da Alemanha – estava mais perto da Bahia do que das cidades do interior do país.

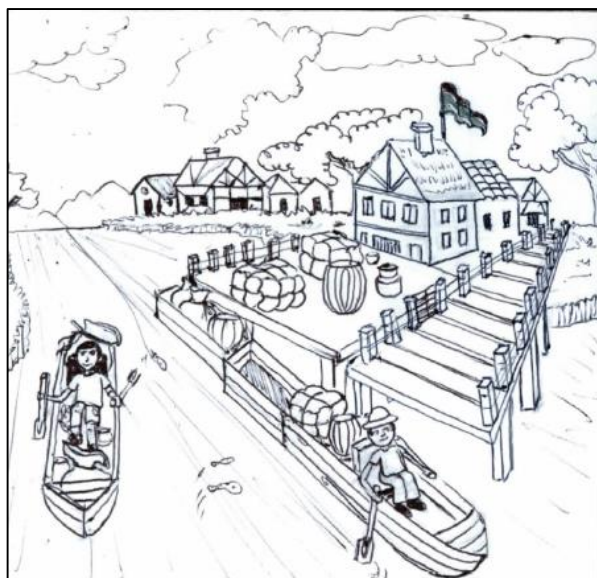
O mundo, no início do século XVIII era, portanto, para a maioria dos seus habitantes, incalculavelmente grande.



O termo urbano inclui poucas cidades “grandes” segundo os nossos padrões – Londres tinha cerca de 1 milhão de habitantes e Paris cerca de 500 mil e algumas outras poucas tinham mais de 100 mil habitantes. Além disso, este termo inclui uma multidão de pequenas cidades de província com pouco mais de 20 mil habitantes, onde viviam a maioria dos cidadãos urbanos. Foi destas cidades que saíram os jovens ambiciosos e ardentes por

pesquisa de recenseamento). Além disso, a concentração populacional era ainda menor, sendo assim, era menor também a colonização humana.

Por outro lado, a dificuldade na comunicação e no transporte, tanto de homens, quanto de mercadorias, deixava o mundo muito maior do que é hoje. O transporte por terra era vagaroso e desconfortável (geralmente levava-se 1 dia para percorrer cerca de 30 km em carroças).



O mundo era essencialmente rural e é impossível entendê-lo sem assimilar este fato. Em países como a Rússia e a região da Escandinávia (Noruega, Dinamarca e Finlândia) onde as cidades não haviam se desenvolvido de forma acentuada, a população era cerca de 90 a 97% rural.

Mesmo em áreas com uma forte tradição urbana, essa porcentagem não chegava a ser menor que 80%. Até mesmo na própria Inglaterra, a população urbana só veio a ultrapassar a rural pela primeira vez já em meados do século XIX.

fazer fortuna ou revoluções, ou as duas coisas ao mesmo tempo. Napoleão, por exemplo, veio de uma cidade chamada Ajaccio, no interior da França. Para se ter uma ideia, atualmente a cidade de Londres tem cerca de 8 milhões de habitantes, enquanto a cidade de São Mateus, no interior do estado do Espírito Santo, tem pouco mais de 100 mil habitantes.

2.1. Estrutura da sociedade

A cidade provinciana ainda pertencia essencialmente à sociedade e à economia do campo. Suas classes média e profissional eram constituídas pelos negociantes de trigo e de gado, os processadores de produtos agrícolas, os advogados e tabeliões, os empresários mercantis que exploravam os empréstimos aos fiandeiros e tecelões dos campos, e, por fim, os mais respeitáveis representantes do governo, os nobres e a Igreja.



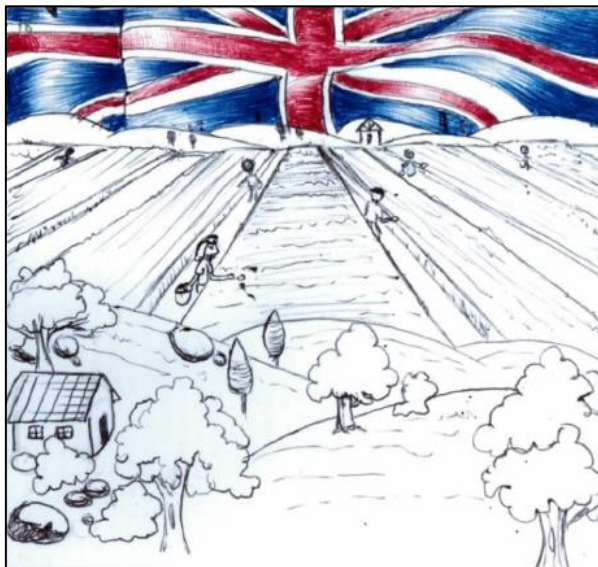
Seus artesãos e lojistas asseguravam as provisões aos camponeses e aos cidadãos que viviam às custas dos camponeses. A cidade provinciana de fins do século XVIII podia ser uma próspera comunidade em expansão, como a sua paisagem dominada por grandes construções de pedra ainda hoje testemunhada em parte da Europa Ocidental. Mas essa prosperidade vinha do campo.



O problema agrário era, portanto, fundamental em meados do século XVIII e o ponto crucial era a relação entre os que cultivavam a terra e os que a possuíam, os que produziam sua riqueza e os que a acumulavam. Em grande parte da Europa Oriental o camponês típico era um servo, que dedicava grande parte do seu trabalho aos grandes senhores feudais. Esta região pode ser considerada como uma “economia dependente”, produtora de alimentos e matérias primas para a Europa Ocidental, de forma análoga às colônias de além-mar (Américas). O senhor de terras característico das áreas de servidão era um nobre proprietário e cultivador ou um explorador de enormes fazendas.

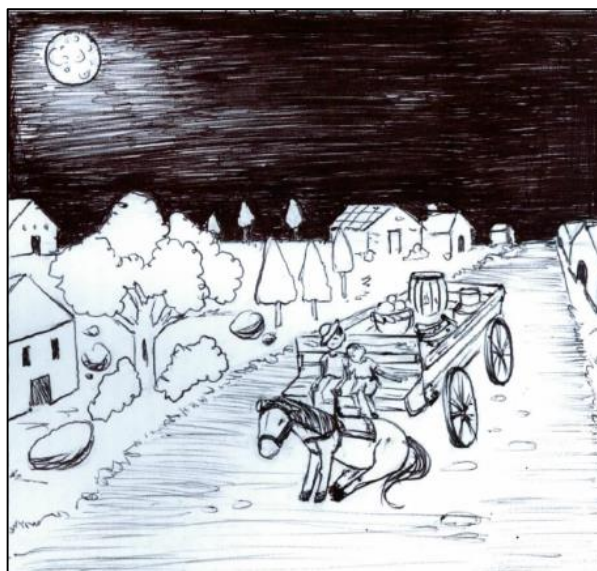


No resto da Europa, a estrutura agrária era socialmente semelhante, ou seja, para um trabalhador ou camponês, qualquer pessoal que possuísse uma propriedade era um “cavaleiro” e membro da classe dominante. Da mesma forma, não era possível adquirir o título de nobre sem uma propriedade.



Entretanto, economicamente, a sociedade rural ocidental era bem diferente. O camponês tinha perdido muito de sua condição de servo. Ele pagava ao senhor das terras (em forma de aluguel ou fração das safras) para poder cultivá-la. Somente algumas áreas levaram o desenvolvimento agrário adiante, como a Inglaterra. Nestes lugares o que se via era uma classe de empresários agrícolas, os fazendeiros, e os trabalhadores rurais.

Com exceção de algumas poucas regiões, a produção agrícola não acompanhava o aumento da população. Dessa forma, a atividade de comércio cresceu muito nesse período e os mercadores tornaram-se os verdadeiros campeões econômicos da época, já que, embora as atividades de mineração e fabricação estivessem se expandindo rapidamente em todas as partes da Europa, o mercador continuava a deter o seu controle.



Havia algumas exceções, principalmente na Inglaterra industrial. Porém, o industrial típico era um pobre gerente e não um capitão da indústria.

O estado mais bem sucedido da Europa no século XVIII, a Grã-Bretanha, devia plenamente seu poderio ao progresso econômico e todos os governos continentais com qualquer pretensão a uma política racional estavam fomentando o crescimento econômico e, especialmente, o desenvolvimento industrial.



As Ciências, ainda não divididas pelo academicismo do século XIX em uma ciência “pura” superior e uma outra “aplicada” inferior, dedicavam-se a solução de problemas produtivos. Inicialmente, os maiores avanços foram na área da Química, que estava intimamente ligada às atividades de laboratório e às necessidades da indústria.

O “iluminismo”, a convicção no progresso do conhecimento humano, na racionalidade, na riqueza e no controle sobre a natureza - de que estava profundamente imbuído o século XVIII - derivou sua força primordialmente do evidente progresso da produção, do comércio e da racionalidade econômica e científica que se acreditava estar associada a ambos.

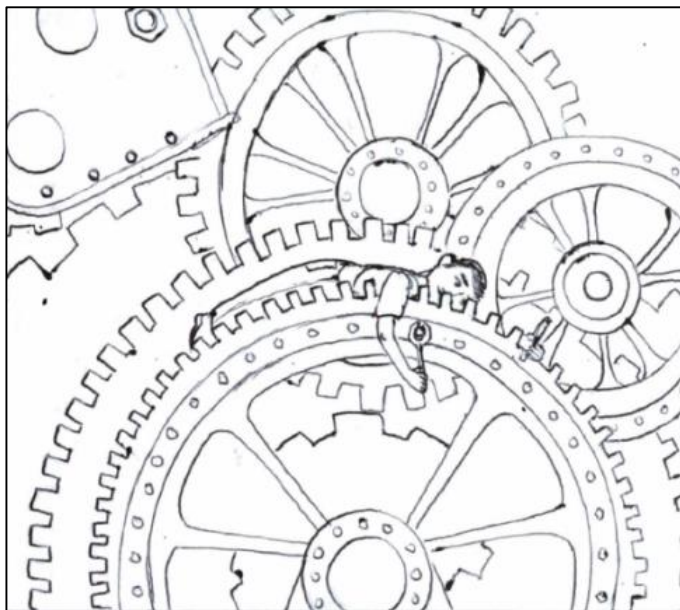


A apaixonada crença no progresso que professava o típico pensador do iluminismo refletia os aumentos visíveis no conhecimento e na técnica, na riqueza, no bem-estar e na civilização que podia ver em toda a sua volta e que, com certa justiça, atribuía ao avanço crescente de suas ideias. No começo do século, as bruxas ainda eram queimadas; no final, os governos do iluminismo, como o austríaco, já tinham abolido não só a tortura judicial mas também a escravidão.



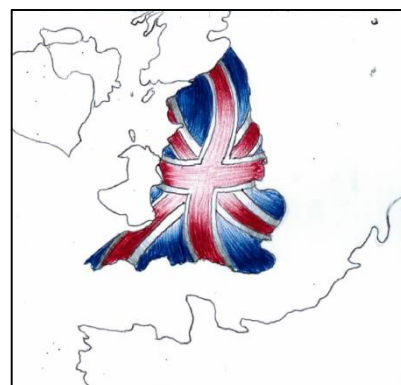
Com exceção da Grã-Bretanha, que fizera sua revolução no século XVII, e alguns Estados menores, as monarquias absolutas reinavam em todos os Estados em funcionamento no continente europeu. Os monarcas hereditários pela graça de Deus comandavam hierarquias de nobres proprietários, apoiados pela organização tradicional e a ortodoxia das igrejas e envolvidos por uma crescente desordem das instituições que nada tinham a recomendá-las exceto um longo passado.

Porém, o sucesso internacional do poderio capitalista britânico levou a maioria destes monarcas (ou seus conselheiros) a tentar programas de modernização intelectual, administrativa, social e econômica. Como nos dias atuais, muitos dos que adotaram estes programas estavam mais interessados nos métodos mais modernos de multiplicação de suas riquezas e poder do que com as ideias do iluminismo.



3. A Revolução Industrial

Em um período relativamente pequeno, aproximadamente entre 1760 e 1830, a sociedade e a economia (inicialmente na Inglaterra) sofreram uma grande mudança. Pela primeira vez na história da humanidade os processos de produção de bens e mercadorias se tornou imensamente grande, ao ponto de produzirem lucros consideravelmente altos, à custa de baixos custos de produção e da exploração de mercados consumidores externos. Este deve ter sido o mais importante acontecimento desde a invenção da agricultura e das cidades.



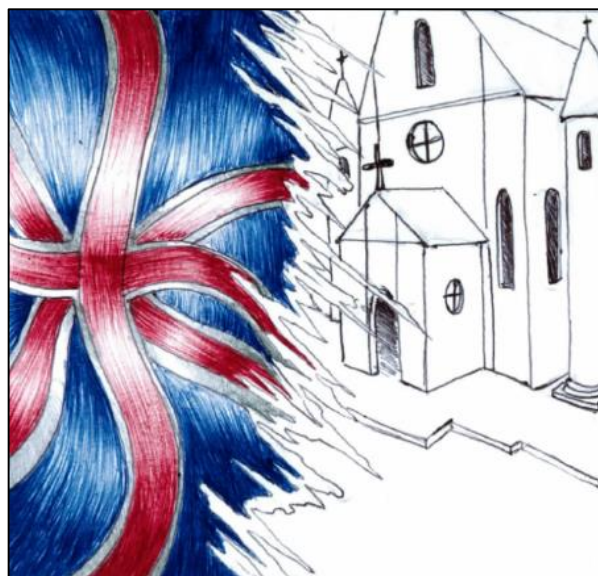
Na verdade, este período parece ser o ápice de um processo que se iniciou muito antes e não aconteceu na Inglaterra por acaso. De todas as nações onde poderia ter acontecido, a inglesa era a que oferecia maiores condições.

Porém, ela não se deu em razão de seu desenvolvimento científico e tecnológico, nem em razão de seu sistema educacional (ambos inferiores quando comparados a outras nações europeias, como a França). Isso porque não foram necessárias grandes inovações tecnológicas que estivessem além das capacidades dos artesãos, carpinteiros ou serralheiros da época. Até mesmo a máquina rotativa a vapor de James Watt – a máquina mais sofisticada da época – ainda utilizava conceitos físicos de um século atrás.

Isto não significa que os primeiros industriais não estivessem constantemente interessados na ciência e em busca de seus benefícios práticos, o que acabou estimulando o desenvolvimento da ciência em geral e, especialmente, a que estava diretamente relacionada com a indústria.

3.1. Por que na Inglaterra?

A reforma protestante quebrou os elos que uniam a Inglaterra com a Igreja Católica e foi fundamental para contribuir no processo de acumulação de riquezas, necessária para dar o impulso inicial na indústria Inglesa.

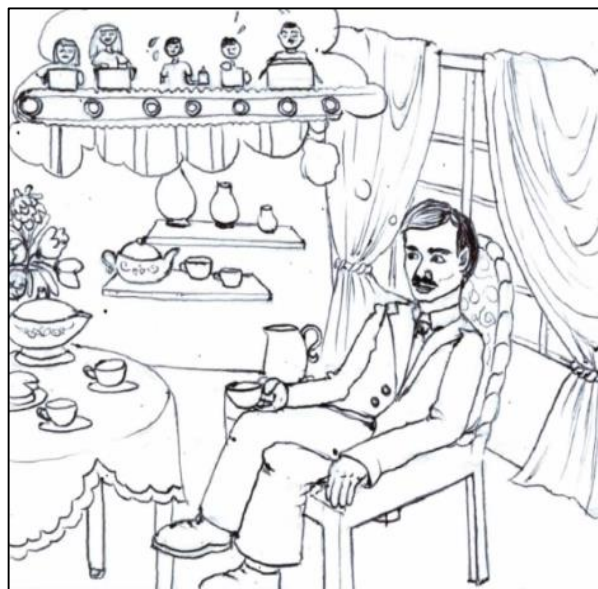


No início do século XVIII as atividades agrícolas já estavam predominantemente dirigidas para o mercado e serviram como um mecanismo de acúmulo de capital. No modo de produção feudal a terra era um bem comum e podia ser usada pelos camponeses. Através de um processo que os livros denominam de cercamento (do inglês “enclosures”) os senhores feudais cercaram suas terras e começaram a arrendá-las.

Dessa forma, a terra passou a ser vista como um bem de produção. Isso contribuiu significativamente para que a população rural migrasse para as cidades em busca de trabalhos nas manufaturas, disponibilizando uma grande quantidade de mão-de-obra barata.

Com o desenvolvimento da agricultura, passou-se a produzir mais do que o necessário para o consumo local de acordo com as necessidades impostas pelo modelo de sociedade capitalista em formação. Os mercadores emergiram como grandes acumuladores de capital e foram os principais responsáveis pelos investimentos em indústrias.

Desde o século XVII, os mercadores foram construindo seu capital, através da compra de produtos por um valor mais baixo e sua respectiva venda por um valor bem mais alto e se consolidaram como grandes financiadores da revolução industrial.



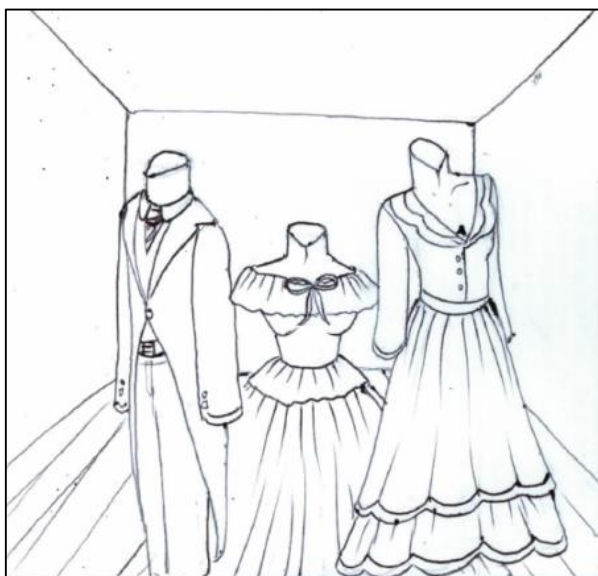
Assim, a sociedade inglesa viu emergir uma classe burguesa extremamente rica e uma classe trabalhadora extremamente pobre – o proletariado.

Um considerável volume de capital social elevado - o caro equipamento geral necessário para toda a economia progredir suavemente - já estava sendo criado, principalmente na construção de uma frota mercante e de facilidades portuárias e na melhoria das estradas e vias navegáveis. A política já estava engatada ao lucro e tudo que os industriais precisavam para serem aceitos entre os governantes da sociedade era bastante dinheiro.

A maior parte da expansão industrial do século XVIII não levou de fato e imediatamente, ou dentro de um futuro previsível, a uma revolução industrial, isto é, à criação de um "sistema fabril" mecanizado que por sua vez produz em quantidades tão grandes e a um custo tão rapidamente decrescente a ponto de não mais depender da demanda existente, mas de criar o seu próprio mercado.

3.2. O surgimento da Indústria

No final do século XVII os artesãos ingleses usavam a lã como matéria prima para a fabricação de tecidos e roupas.

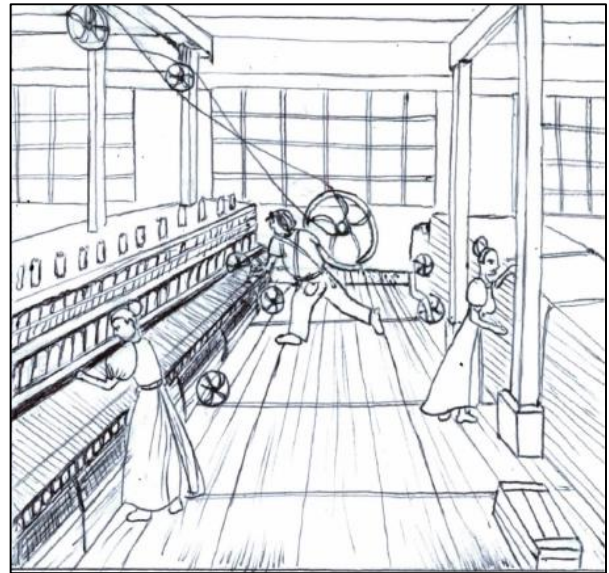
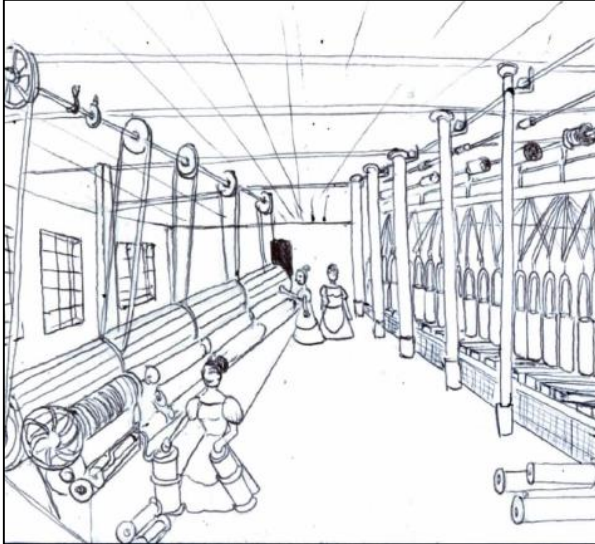


Porém, no início do século XVIII, navios ingleses vindos do Oriente introduziram os tecidos feitos de algodão e que tiveram sucesso imediato.

Os fabricantes locais tentaram criar indústrias de imitação e, a partir daí, o algodão começou a entrar no país como matéria prima bruta. O problema era que os produtos ingleses eram muito mais caros do que os trazidos do Oriente, já que a produção nessa época era feita, basicamente, por artesãos em suas próprias casas.

Além disso, os operários chineses tinham um nível de vida muito mais baixo e séculos de experiência. Criou-se assim uma necessidade: aumentar a produtividade e diminuir os custos, visando um lucro cada vez maior.

Nasciam, assim, as grandes fábricas têxteis, que concentravam a produção e transformavam artesãos criativos e liberais em operários dependentes, mecanizados e mal pagos. Nessa época começaram a surgir mudanças na técnica de fabricação, como a divisão do trabalho e a fabricação em série.



Para aumentar a produção, as fábricas começaram a usar a força da água para girar grandes rodas d'água que, por sua vez, serviam como força motora dos teares, cada vez maiores.

Por essa razão, as primeiras fábricas foram sendo construídas próximas a rios e terrenos acidentados e as cidades foram acompanhando esse desenvolvimento.

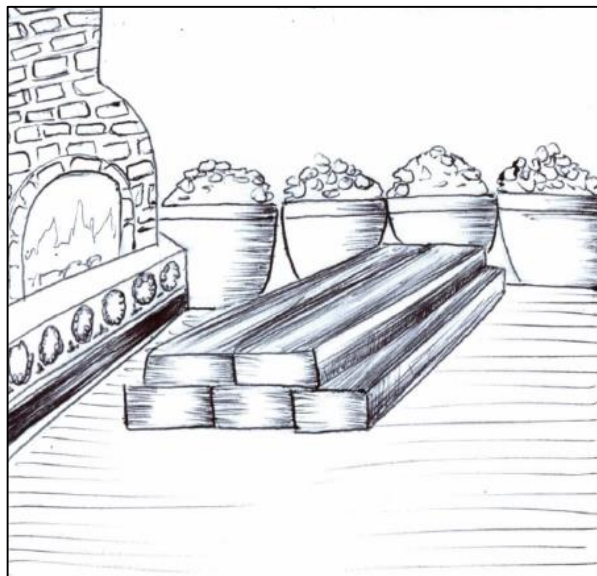
Mas as rodas d'água eram muito lentas e a produção era baixa. Com o desenvolvimento da máquina rotativa de Watt, por volta de 1770, os processos de produção tiveram uma evolução muito significativa (provavelmente a mais importante revolução nos processos de produção, desde o início da agricultura, o uso do da roda e do fogo) e a produção aumentou bruscamente.



4. O desenvolvimento da Máquina Térmica

Desde a idade média já se fabricavam materiais feitos de ferro, ouro, prata e outros materiais através de processos de usinagem que necessitavam de altas temperaturas. No início usava-se a lenha, mas logo foi necessário substituí-la, pois as florestas estavam sendo completamente devastadas e logo não haveria mais lenha.

Passou-se, então, a usar carvão mineral que era encontrado, inicialmente, em minas a céu aberto. Porém, com tempo, tornou-se necessário abrir caminho terra abaixo e logo surgiu um grande problema: constantemente as minas ficam inundadas.



4.1. A Máquina de Newcomen

Foi então que, por volta de 1710, começou-se a utilizar uma máquina aperfeiçoada pelo inglês Thomas Newcomen (1663 – 1729) que funcionava a vapor e conseguia retirar água das partes mais profundas das minas.



1. Vapor é produzido no aquecedor e conduzido até o cilindro;
2. O vapor eleva o pistão permitindo que a haste desça até a parte alagada da mina;
3. Uma válvula é aberta para permitir um jato de água sobre o cilindro, capaz de condensar o vapor ali dentro, provocando vácuo e permitindo que o pistão desça, levantando a haste;
4. O vácuo criado pelo movimento de subida da haste é preenchido pela água que escoou para fora da mina;
5. Em seguida o procedimento é repetido.

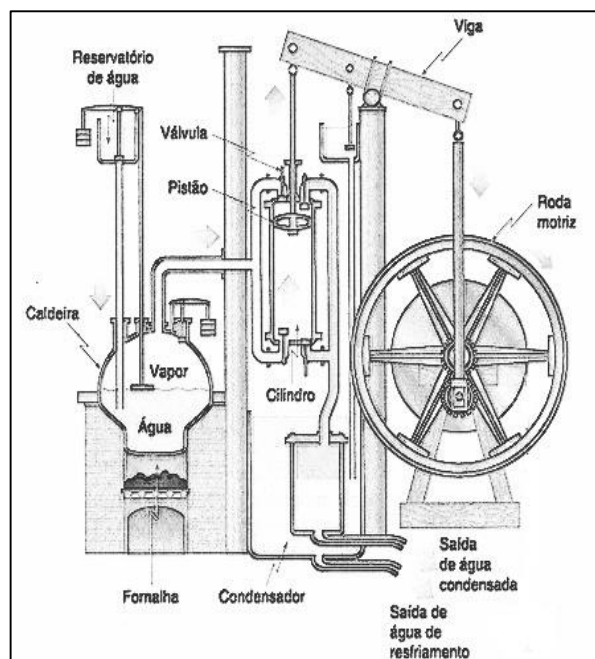
Essa máquina baseava-se em uma observação feita pelo físico francês Denis Papin em 1679: quando água é aquecida dentro de um recipiente fechado, uma enorme pressão é formada, podendo erguer a tampa da panela.

O maior problema das máquinas de Newcomen era o consumo. Siga o raciocínio: A energia gerada pela queima do combustível é usada para aquecer a água e, conseqüentemente, o cilindro. Como o cilindro é resfriado a todo momento, poderia haver uma economia muito grande de combustível caso a condensação ocorresse em outro recipiente.

4.2. A Máquina de Watt

Por volta de 1770, o mecânico e inventor escocês, James Watt conseguiu aperfeiçoar a máquina térmica de Newcomen e torná-la cerca de 75% mais econômica. Foi ele, também, que modificou a máquina para aproveitar o movimento de subida e descida do pistão para girar uma roda.

Esta máquina a vapor foi denominada máquina rotativa e teve uma aceitação imediata e foi usada principalmente nas fábricas têxteis que antes eram giradas por rodas d'água. Foi estimado que até 1800 foram construídas cerca de 300 dessas máquinas.



Vale ressaltar que até esse período, praticamente todos os avanços tecnológicos eram obtidos através de métodos empíricos, ou seja, através de tentativas e erros, o que era determinante para que os avanços tecnológicos fossem muito lentos.

Era necessário, portanto, um desenvolvimento teórico capaz de subsidiar avanços significativos em equipamentos tecnológicos que pudessem ser usados para aumentar a produção das fábricas. Por essa razão, a Termodinâmica foi área da física que experimentou avanços mais significativos durante esta época e já estava praticamente estruturada até o final do século XIX.

4.3. A Máquina de Carnot

Até o final do século XVIII o desenvolvimento da máquina térmica foi prático, ou seja, baseado em tentativas. No início do século XIX, um jovem engenheiro francês chamado Nicolas Leonard Sadi Carnot se interessou pelas máquinas térmicas e começou a investigar teoricamente formas de melhorar seu rendimento e encontrar um limite para tal.



Em seus estudos, Carnot observou que sempre que o calor flui espontaneamente de um corpo para outro, há perda de rendimento. Assim, ele concluiu que o rendimento de uma máquina térmica será tanto maior quanto se consiga evitar o contato entre a fonte quente (que fornece calor ao gás) e a fonte fria (que resfria o gás).

Buscando construir um motor perfeito, onde não existisse contato direto entre as fontes quentes e as fontes frias, Carnot imaginou uma máquina onde o gás pudesse ser aquecido e resfriado (por compressão e dilatação) antes de entrar em contato com a fonte quente e a fonte fria, de tal modo que os contatos fossem feitos entre os corpos à mesma temperatura.

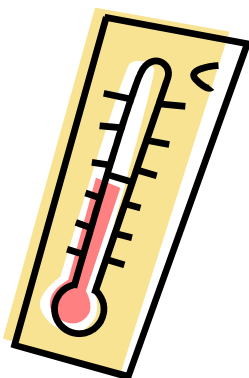
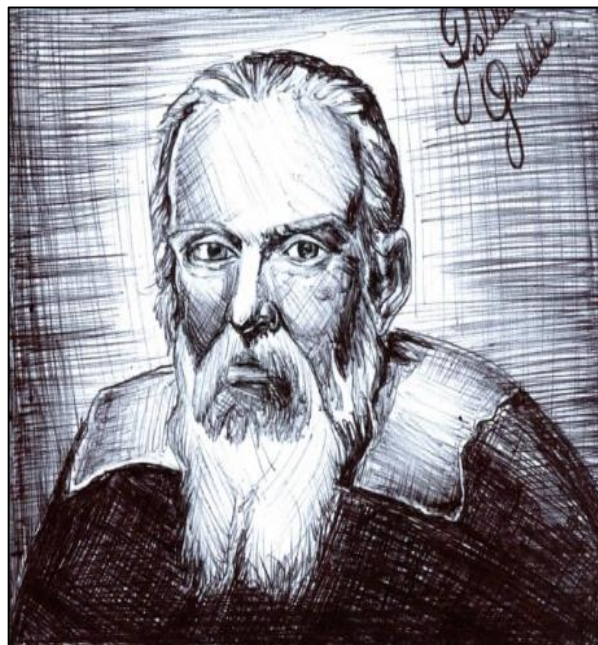
Entretanto, a máquina de Carnot é uma máquina que não pode ser construída, pois não é possível haver um fluxo de calor entre dois corpos à mesma temperatura. Porém, a máquina idealizada por Carnot representa um limite máximo de rendimento que pode ser

alcançado por uma máquina que usa uma fonte quente à determinada temperatura. Ou seja, se o gás puder ser aquecido até uma temperatura inicial, existe sempre um limite de rendimento para essa máquina.

5. A evolução do conceito de Temperatura

O conceito de temperatura como conhecemos hoje (resultado do movimento de partículas de um corpo) só foi concebido em meados do século XX. Até o final do século XVI existia, apenas, o conceito de quente e frio. A partir daí, e durante muito tempo, vários cientistas se dedicaram a quantificar essas sensações, sem se preocupar em definir o que realmente é a temperatura.

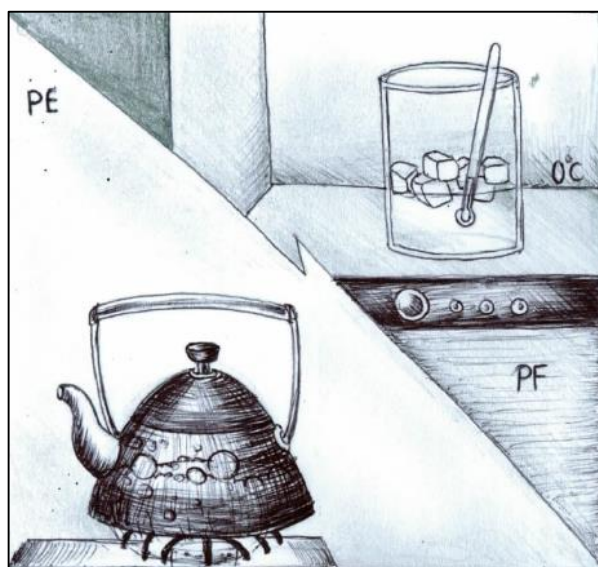
Galileu foi um dos primeiros a realizar experiências que pudessem quantificar essas sensações usando o princípio de o ar se expandir ao ser aquecido. Esse princípio havia sido descoberto por volta de 100 a.C. mas nunca havia sido aplicado.

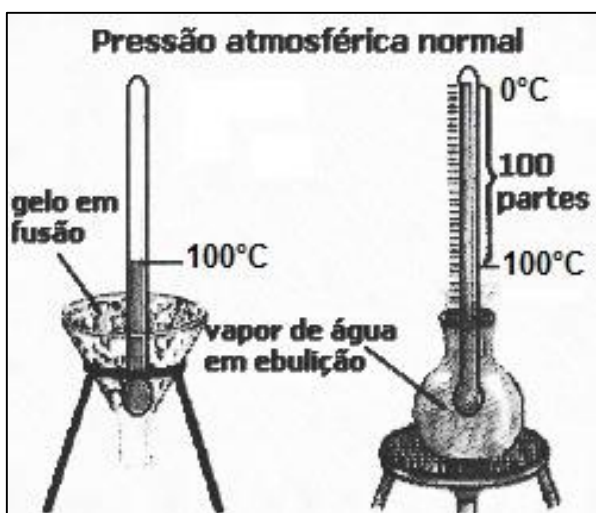


Com o desenvolvimento da técnica de soprar vidro, começou-se um processo de aperfeiçoamento dos termômetros e Ferdinando II, o Grão Duque da Toscana, por volta de 1640 construiu um termômetro, baseado em álcool dentro de um tubo de vidro selado. A partir daí, foram várias as tentativas de padronizar os valores que eram marcados em cada termômetro e, assim, foram surgindo várias escalas termométricas.

Foi Newton quem primeiro sugeriu a utilização de dois pontos de referência.

Porém, naquela época não existia razão para acreditar que a água tivesse propriedades especiais que pudessem ser reproduzidas e, mesmo se tivesse, não se encontrava gelo durante o ano inteiro. Assim, no início usou-se pontos subjetivos como “a temperatura do corpo humano”, “o frio do inverno mais severo” ou “o ponto do derretimento da manteiga”. Somente no final do século XVII os pontos de fusão e ebulição da água começaram a ser difundidos.





A escala mais conhecida atualmente em nosso país, a Celsius ($^{\circ}\text{C}$), foi concebida por volta de 1740 pelo astrônomo sueco Anders Celsius que deu os valores arbitrários de 100°C e 0°C aos pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente, e dividiu o intervalo em 100 partes. Posteriormente, ele inverteu os valores.

6. A evolução do conceito de Calor

Até mesmo para estudantes do ensino superior o conceito de calor não é bem entendido. Essa definição passa por teorias bem antigas e evoluções que, posteriormente, foram admitidas como erradas. Porém, é interessante notar que para o estágio em que as Ciências se encontravam naquele momento, essas teorias são completamente plausíveis.

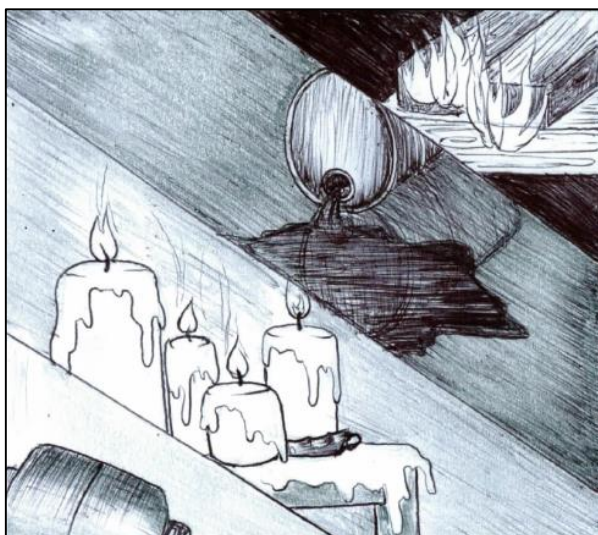
6.1. O Flogístico

As primeiras ideias que se notícia sobre o conceito de calor são da Grécia Antiga. Para Empédocles, o fogo era considerado um dos quatro elementos básicos da matéria e Aristóteles via no calor e no frio duas qualidades elementares da matéria, opostas e simétricas. Para ele o fogo era originado por um movimento de partículas extremamente pequenas e o calor era visto como uma propriedade de um corpo ser quente ao toque.



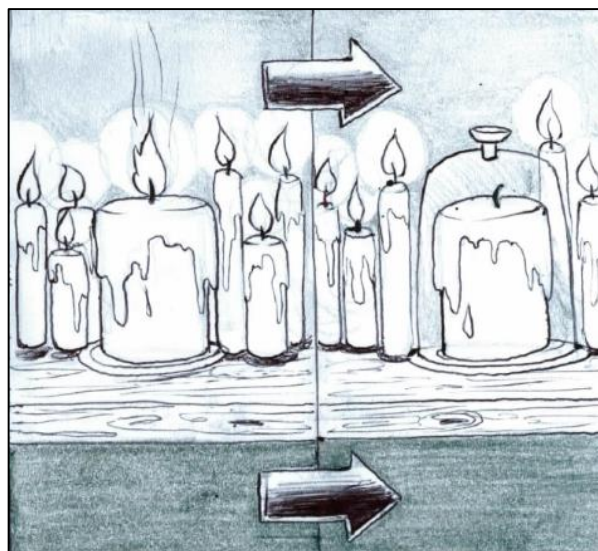
Até hoje essa ideia faz parte do senso comum e é, inclusive, corroborada por vários dicionários. O dicionário Aurélio (online) traz o significado de CALOR, entre outras coisas, como:

- Qualidade daquilo que é quente; temperatura elevada, tempo quente; os grandes calores do verão...



O flogístico tinha a propriedade de ser absorvido pelo ar e tinha “afinidade” com os sólidos, sendo mais fácil se combinar com estes do que com fluidos. Assim, estava explicado o fato uma vela parar de queimar dentro de um recipiente fechado: o ar ficava saturado de flogístico e quando não conseguia mais absorvê-lo (como uma esponja) a combustão terminava.

Pouco antes de 1700, George Ernst Stahl (químico e médico alemão) baseou-se nas ideias do alquimista alemão Johann Becher para fundamentar sua teoria do Flogístico. Para ele, todos os materiais combustíveis continham uma determinada proporção de “fogo elementar”, um elemento sem peso – o flogístico. Quanto maior essa proporção, mais combustível era a substância.



6.2. O Calórico

A ideia do Flogístico perdurou até 1760, quando um químico britânico chamado Joseph Black postulou novas ideias que seriam a base da teoria do calórico. Segundo ele todos os corpos continham o calórico, um fluido indestrutível e imponderável, cujas partículas constituintes eram auto repulsivas, mas atraídas pelos constituintes de outras substâncias.



Essas ideias serviram para explicar diversos fenômenos físicos observados na época:

- Quando dois corpos são colocados em contato térmico, o calórico flui do corpo quente para o corpo frio;
- Quando em contato com o fogo, o corpo recebe mais calórico e este, por ser auto repulsivo, faz com que as dimensões do corpo aumentem.
- Os diferentes calores específicos das substâncias se deviam ao fato dele ser atraído de modo desigual pelas diferentes espécies da matéria.
- No estado sólido, uma substância continha o calórico em pequena porcentagem. Nos líquidos ela aumentava e se tornava maior ainda nos gases.

Para ter ideia da importância dessa teoria, Lavoisier chegou a incluir em sua tabela periódica o elemento químico chamado “calórico”. Porém, o maior problema era que, segundo essa teoria, o calor deveria ser conservado.

Com o advento da revolução industrial, a Termodinâmica passou a chamar atenção de vários setores da Física e vários fatores levaram à por abaixo a teoria do calórico.



6.3. Calor como uma forma de Energia



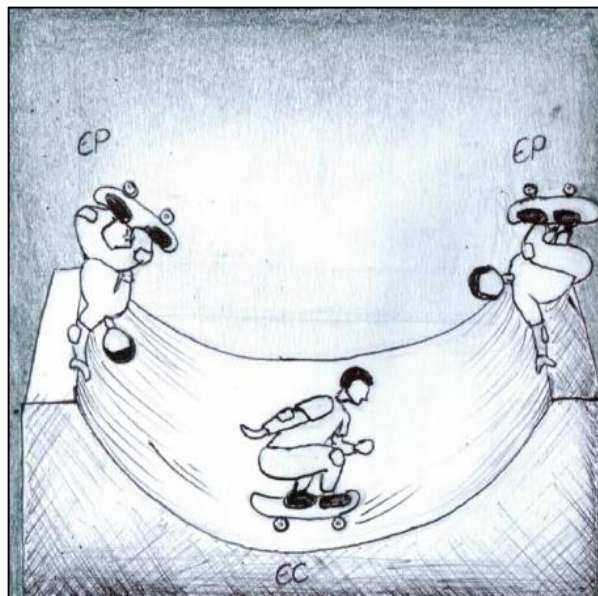
Pouco antes de 1800, Benjamin Thompson, o Conde de Rumford, fez algumas observações enquanto supervisionava a perfuração de canhões em uma fábrica.

Ele percebeu que a água que era utilizada para resfriar os canhões durante o processo de perfuração chegava a temperaturas acima do ponto de ebulição. Além disso, o processo de aquecimento da água continuava enquanto houvesse atrito entre as peças e não havia qualquer alteração de peso nos corpos.

Assim, ele concluiu que uma coisa que pudesse ser fornecida infinitamente a um sistema não poderia ser uma substância (lembre-se que o calórico era considerado um fluido).

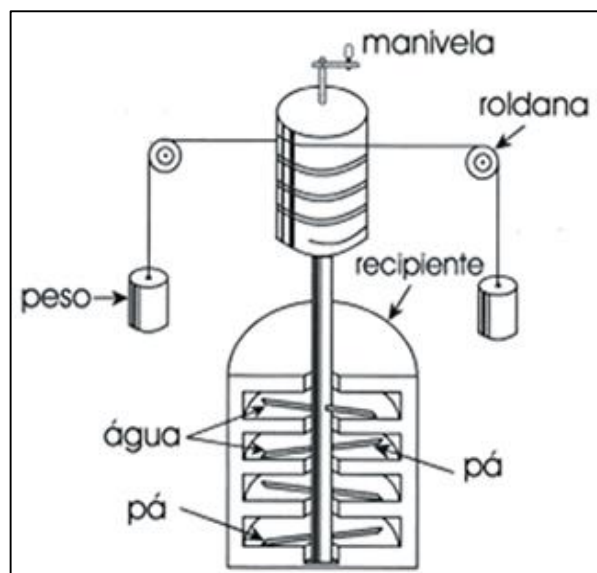
Em 1812, Humphrey Davy (físico e químico britânico) publicou um artigo onde concluiu que “a causa imediata dos fenômenos caloríficos é o movimento”. Lavoisier e Laplace também expressaram uma certa desconfiança quanto à teoria do calórico, mas não obtiveram métodos suficientes para derrubá-la definitivamente.

Por volta de 1840, o médico alemão Julius Robert Von Mayer, publicou um trabalho propondo que o calor era uma manifestação de energia. Naquela época admitia-se, apenas, a energia cinética e a energia potencial. Porém, como seu trabalho foi baseado em observações médicas, não teve credibilidade e foi ignorado por quase 20 anos. Esse fato levou-o a tentativa de suicídio, quando tinha pouco mais de 30 anos.



Em 1845, o britânico James Prescott Joule propôs um aparato para medir a relação entre o trabalho e o calor. A experiência consistia em colocar, dentro de um recipiente com água, um conjunto de hélices, ligadas, através de roldanas, a dois pesos que caíam sob a ação da gravidade e faziam aumentar a temperatura da água no recipiente devido ao movimento das hélices.

Ele chegou à conclusão de que 1 cal (unidade de medida usada em medições de quantidade de calor) era igual a 4,154 J (unidade de medida usada em energia mecânica). Este valor tem um desvio de apenas 1% em relação ao valor atualmente aceito. Assim, ele concluiu que a energia potencial podia ser convertida em energia cinética e esta podia transformar-se em calor.



Couberam aos físicos alemães Hermann Ludwig Von Helmholtz e Rudolf Julius Emanuel Clausius o enterro definitivo da teoria do calórico. Com um tratamento teórico e matemático preciso e minucioso, eles teorizaram que se calor e energia mecânica podem produzir trabalho, então são dois tipos de um mesmo fenômeno, designado energia.

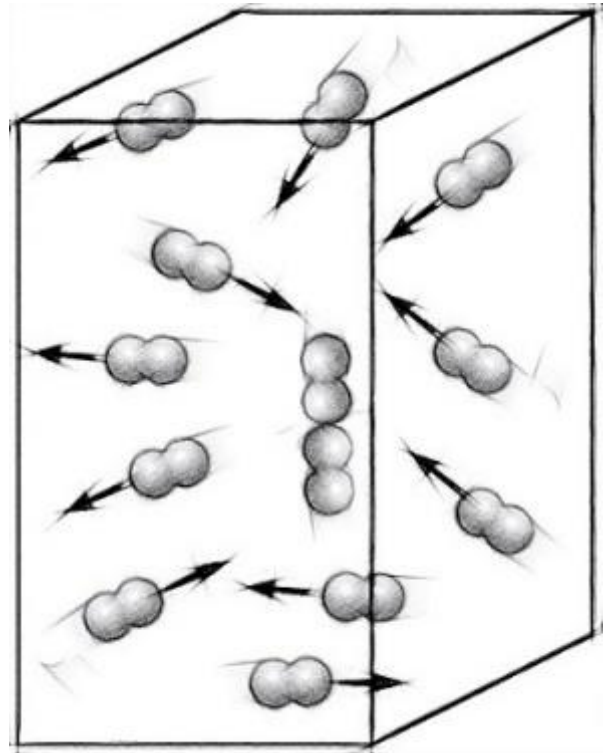
Este conceito ficou conhecido por Princípio da Conservação da Energia: a energia total de um sistema isolado permanece constante quaisquer que sejam as transformações sofridas por ele. Este princípio também é conhecido como **"1º Lei da Termodinâmica"**.

Foi Clausius quem também idealizou o que hoje conhecemos como **"2º Lei da Termodinâmica"**. Analisando as ideias de Carnot ele concluiu que: "não existe qualquer sistema térmico perfeito que converta todo o calor em trabalho. Existe sempre uma determinada perda de energia para o ambiente".



Um ano depois, Willian Thomson (conhecido como Lorde Kelvin) também propôs uma formulação da 2ª Lei: “Nenhum processo é possível em que o único resultado seja a absorção de calor de um recipiente e a sua completa conversão em trabalho”.

No século XX ganhou força a Teoria Cinética dos Gases e as definições de calor como uma forma de energia, como conhecemos hoje. Porém, devemos ter em mente que o processo que levou às conclusões atuais não foram simples, quanto menos triviais. Atualmente, podemos observar as diversas formas de energia e suas transformações em diversas situações do cotidiano e as tecnologias que se baseiam na termodinâmica compreendem desde painéis de pressão até grandes caldeiras industriais, passando por motores de automóveis e motocicletas, além de usinas responsáveis pela transformação de outros tipos de energia em energia elétrica.



APÊNDICE B

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: INTER-RELAÇÕES ENTRE A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA

Objetivo Geral:

Discutir as inter-relações entre a Primeira Revolução Industrial e o desenvolvimento da Termodinâmica.

Objetivos Específicos:

Compreender a influência dos fatores sócio-econômicos no desenvolvimento científico;

Conhecer os alguns dos cientistas que contribuíram para o desenvolvimento da Termodinâmica no Século XVIII;

Pesquisar os principais conceitos da Termodinâmica.

Sequência:

1. *Situação inicial – aula 01:* nesta etapa os alunos deverão responder ao questionário apresentado no Apêndice I. O objetivo dessa atividade é identificar as concepções prévias do aluno a respeito do tema trabalhado e poderá servir como sistema de avaliação da aprendizagem do aluno e, consequentemente, como avaliação da própria sequência didática. Esta atividade não deve ser avaliativa.

2. *Apresentação do texto-base:* ao final da primeira aula, os alunos receberão a apostila “A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA” e deverão fazer sua leitura em casa, visando subsidiar a discussão programada para a aula 03.

3. *Apresentação dos vídeos – aula 02:* nesta etapa o professor deverá exibir os dois primeiros episódios do documentário “As consequências da revolução industrial” produzido pela rede de televisão britânica BBS. O objetivo dessa aula é fomentar o interesse dos alunos pelo tema, além de subsidiar as discussões das aulas seguintes.

4. *Discussão em grupos – aula 03:* o questionário respondido pelos alunos na aula 01 será devolvido. Eles também poderão usar a apostila entregue anteriormente. Em seguida, os alunos serão divididos em grupos de aproximadamente 04 alunos e estimulados a discutir a respeito de suas repostas, dentro do grupo, durante metade da aula. Na metade restante, um aluno de cada grupo deverá apresentar suas conclusões a respeito de uma das questões apresentadas ao restante da turma. A questão que deverá ser apresentada será definida em sorteio. Mesmo que não seja possível a apresentação de todos os grupos, esta atividade deverá durar apenas esta aula.

5. *Apresentação da apostila digital (slides) – aula 04:* nesta etapa o professor deverá apresentar os slides que foram baseados na apostila “A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA”. O objetivo dessa atividade é discutir com os alunos a apostila apresentada à eles e tentar sanar possíveis dúvidas que perdurem, mesmo após as discussões da aula 03.

6. *Situação final – aula 05:* esta atividade, que ocupará uma aula, deverá ter sido já anunciada para os alunos; não deverá ser de surpresa. Os alunos deverão responder um questionário com questões abertas (Apêndice II) que versam a respeito das contribuições da revolução industrial no desenvolvimento da Termodinâmica e vice-versa, além do desenvolvimento dos conceitos relacionados à Termodinâmica. Será atribuída uma nota ao aluno, correspondente a 20% da nota total da etapa (bimestre, trimestre ou semestre). O objeto desta atividade é avaliar o aprendizado do aluno e, consequentemente, avaliar as contribuições da sequência didática.

Total de aulas: 5.

APÊNDICE I

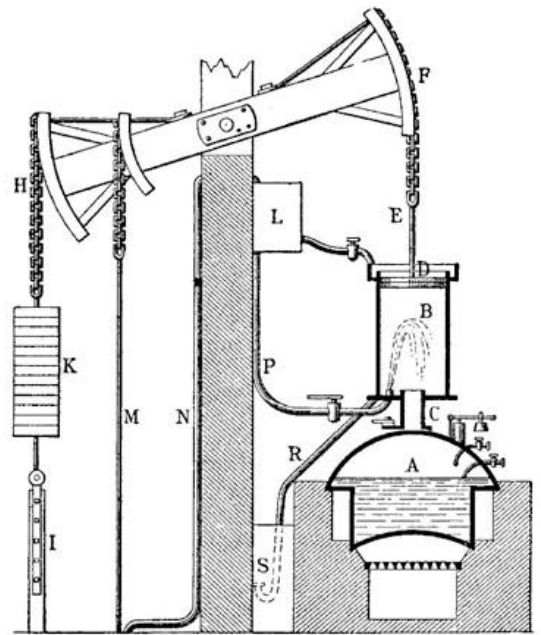
Questionário da aula 01:

1. Você já leu algum texto sobre história da física?
2. Se sua resposta à questão anterior for sim, o texto tinha como foco principal:
 - a) Biografia de cientistas;
 - b) Fatos e datas;
 - c) Descobertas científicas;
 - d) Equipamentos tecnológicos;
 - e) Relação entre ciência e sociedade;
 - f) Outros _____.
3. Se seu professor lhe perguntasse o que é temperatura, o que você responderia?
4. Se seu professor lhe perguntasse o que é calor, o que você responderia?
5. Se seu professor lhe perguntasse o qual a principal função de uma máquina térmica, o que você responderia?
6. Se seu professor lhe perguntasse o que diz a primeira lei da termodinâmica, o que você responderia?
7. Se seu professor lhe perguntasse o que diz a segunda lei da termodinâmica, o que você responderia?
8. Você conhece algum cientista que tenha contribuído com o desenvolvimento da termodinâmica? Se sim, Quais?
9. Você sabe dizer as características da primeira revolução industrial? Quais?
10. Você acha que a física contribui de alguma forma com o desenvolvimento da revolução industrial? Explique.
11. Você acha que a revolução industrial contribuiu de alguma forma com o desenvolvimento dos conceitos relacionados à termodinâmica? Explique.

APÊNDICE II

Questionário da aula 05:

1. Descreva como você entende o conceito de temperatura.
2. Descreva como você entende o conceito de calor.
3. O esquema ao lado mostra uma máquina térmica de Newcomen. Tomando como base esta máquina térmica, responda:
 - a) Qual a função básica de uma máquina térmica?
 - b) Explique o funcionamento dessa máquina (em no máximo três linhas).
 - c) Esta máquina de Newcomen era usada com qual finalidade?
 - d) Cite pelo menos mais duas possíveis utilizações de uma máquina térmica.



4. Descreva o que você entende a partir do enunciado da PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.
5. Descreva o que você entende a partir do enunciado da SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.
6. É possível que uma máquina consiga transformar toda a energia que ela recebe em trabalho? Explique em que você se baseou para dar sua resposta.
7. Certo vendedor afirma que sua máquina tem rendimento maior que uma máquina similar que utiliza um ciclo próximo ao de Carnot. Você teria razões para acreditar ou não nesse vendedor? Explique.
8. É possível que, em uma transformação, um gás que se encontra dentro de um cilindro fechado com um pistão possa receber calor sem aumentar sua temperatura? Explique.
9. Diga o nome (ou pelo menos o sobrenome) de dois cientistas que contribuíram com a construção dos conceitos da termodinâmica.
10. Quais as características que marcaram a PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL?
11. Você acha que a física contribuiu de alguma forma com o desenvolvimento da revolução industrial? Explique.
12. Você acha que a revolução industrial contribuiu de alguma forma com o desenvolvimento dos conceitos relacionados à termodinâmica? Explique.

APÊNDICE C

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

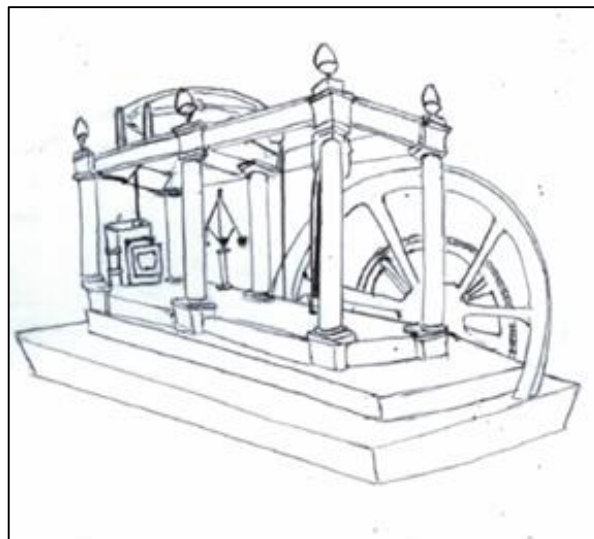
**A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL
E O DESENVOLVIMENTO DA
TERMODINÂMICA**

CLEIDSON VENTURINE

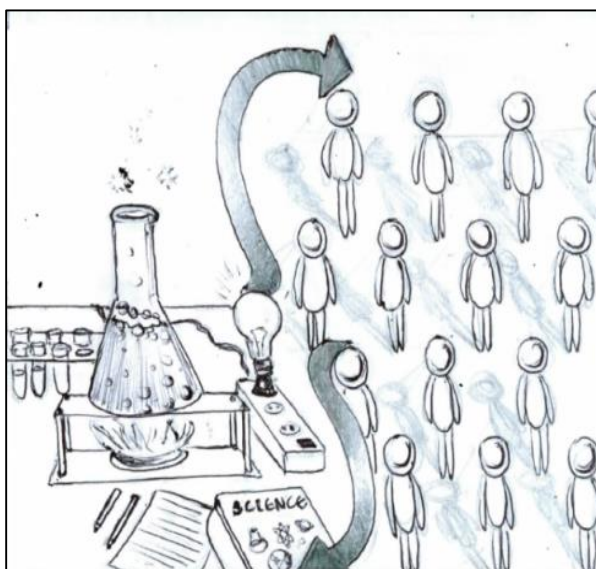
2014

1. Introdução

A primeira revolução industrial, ocorrida, principalmente, na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX constitui, talvez, a maior transformação da história humana desde os tempos remotos, quando o homem inventou a agricultura e a metalurgia, a escrita, a cidade e o Estado. Esta revolução transformou, e continua a transformar, o mundo inteiro. É claro que vários fatores contribuíram para que ela acontecesse, mas um dos principais fatores foi o desenvolvimento da Termodinâmica e, principalmente, da máquina térmica.



A máquina a vapor



Ciência e sociedade

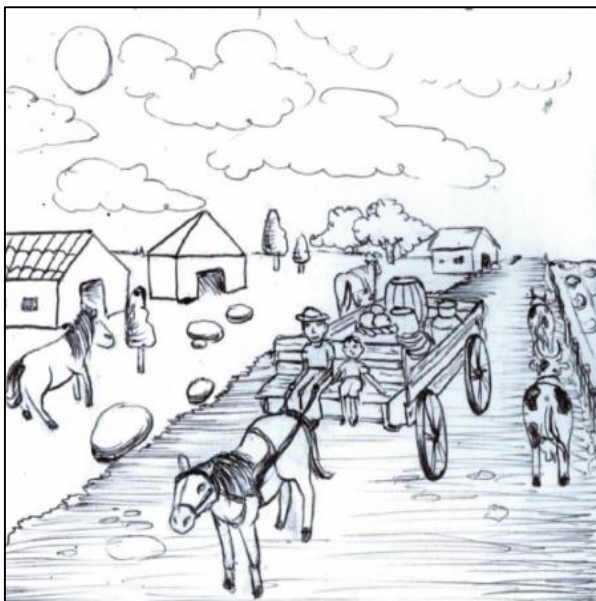
Contextualizar histórica, social e economicamente o período que compreende o desenvolvimento das Leis da Termodinâmica pode contribuir significativamente para que possamos entender as relações entre a Ciência e a Sociedade e como elas se influenciam. Além disso, entender essas relações e conhecer como se deu a construção do conhecimento que levou ao desenvolvimento dos conceitos e das Leis relacionadas à Termodinâmica pode contribuir para a motivação do aluno em estudar Física e, assim, contribuir para o processo de ensino/aprendizagem envolvendo o mesmo.

2. O Velho Mundo no século XVII (antes da Revolução Industrial)

Nesta época o mundo era, ao mesmo tempo, muito maior e menor do que o nosso. Era muito menor, pois até mesmo os mais aventureiros dos homens conheciam apenas uma pequena fração do mundo habitado.



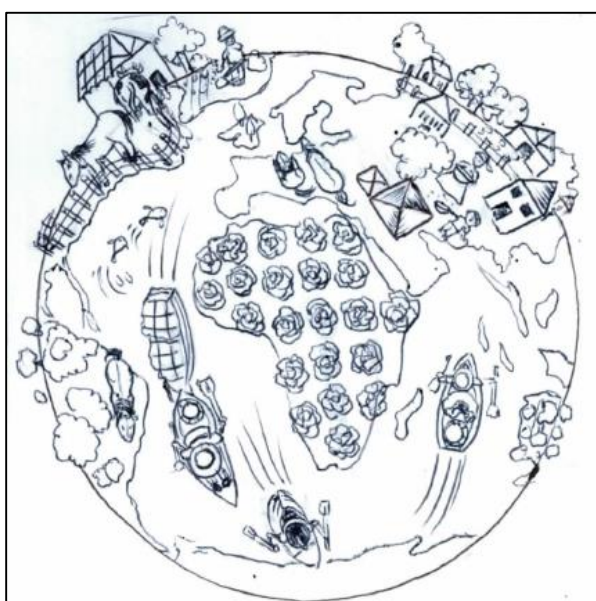
As pequenas cidades do velho mundo



Transporte por terra

O transporte por água era, geralmente, mais fácil, barato e rápido. Dessa forma, a maioria das cidades se desenvolviam próximas aos portos. Podemos dizer que a cidade de Hamburgo – região litorânea da Alemanha – estava mais perto da Bahia do que das cidades do interior do país.

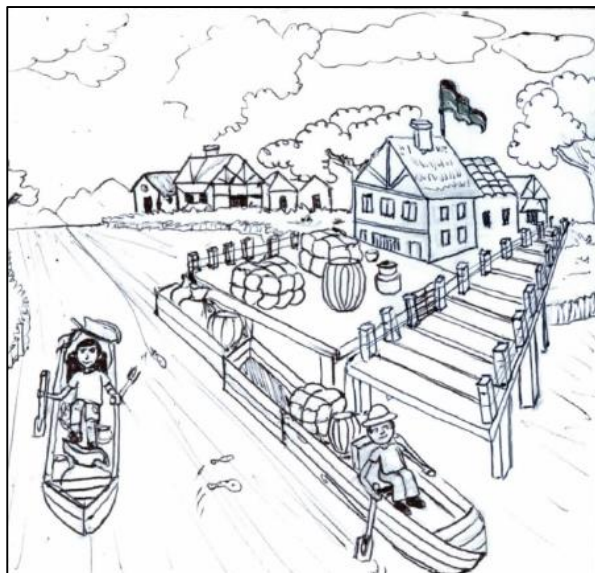
O mundo, no início do século XVIII era, portanto, para a maioria dos seus habitantes, incalculavelmente grande.



O mundo no velho mundo

Para os “homens normais”, cidadãos comuns das cidades, esse conhecimento era ainda menor. E, também, demograficamente, já que a população do planeta não era muito maior do que 1/3 da atual (na prática, não há dados demográficos concretos, já que naquela época não existia nenhuma pesquisa de recenseamento). Além disso, a concentração populacional era ainda menor, sendo assim, era menor também a colonização humana.

Por outro lado, a dificuldade na comunicação e no transporte, tanto de homens, quanto de mercadorias, deixava o mundo muito maior do que é hoje. O transporte por terra era vagaroso e desconfortável (geralmente levava-se 1 dia para percorrer cerca de 30 km em carroças).



Transporte pela água

O mundo era essencialmente rural e é impossível entendê-lo sem assimilar este fato. Em países como a Rússia e a região da Escandinávia (Noruega, Dinamarca e Finlândia) onde as cidades não haviam se desenvolvido de forma acentuada, a população era cerca de 90 a 97% rural.

Mesmo em áreas com uma forte tradição urbana, essa porcentagem não chegava a ser menor que 80%. Até mesmo na própria Inglaterra, a população urbana só veio a ultrapassar a rural pela primeira vez já em meados do século XIX.

O termo urbano inclui poucas cidades “grandes” segundo os nossos padrões – Londres tinha cerca de 1 milhão de habitantes e Paris cerca de 500 mil e algumas outras poucas tinham mais de 100 mil habitantes. Além disso, este termo inclui uma multidão de pequenas cidades de província com pouco mais de 20 mil habitantes, onde viviam a maioria dos cidadãos urbanos. Foi destas cidades que saíram os jovens ambiciosos e ardentes por fazer fortuna ou revoluções, ou as duas coisas ao mesmo tempo. Napoleão, por exemplo, veio de uma cidade chamada Ajaccio, no interior da França. Para se ter uma ideia, atualmente a cidade de Londres tem cerca de 8 milhões de habitantes, enquanto a cidade de São Mateus, no interior do estado do Espírito Santo, tem pouco mais de 100 mil habitantes.

2.1. Estrutura da sociedade

A cidade provinciana ainda pertencia essencialmente à sociedade e à economia do campo. Suas classes média e profissional eram constituídas pelos negociantes de trigo e de gado, os processadores de produtos agrícolas, os advogados e tabeliões, os empresários mercantis que exploravam os empréstimos aos fiandeiros e tecelões dos campos, e, por fim, os mais respeitáveis representantes do governo, os nobres e a Igreja.



Os servos e o Senhor

O problema agrário era, portanto, fundamental em meados do século XVIII e o ponto crucial era a relação entre os que cultivavam a terra e os que a possuíam, os que produziam sua riqueza e os que a acumulavam. Em grande parte da Europa Oriental o camponês típico era um servo, que dedicava grande parte do seu trabalho aos grandes senhores feudais. Esta região pode



Sociedade urbana

Seus artesãos e lojistas asseguravam as provisões aos camponeses e aos cidadãos que viviam às custas dos camponeses. A cidade provinciana de fins do século XVIII podia ser uma próspera comunidade em expansão, como a sua paisagem dominada por grandes construções de pedra ainda hoje testemunhada em parte da Europa Ocidental. Mas essa prosperidade vinha do campo.



Os feudos

ser considerada como uma “economia dependente”, produtora de alimentos e matérias primas para a Europa Ocidental, de forma análoga às colônias de além-mar (Américas). O senhor de terras característico das áreas de servidão era um nobre proprietário e cultivador ou um explorador de enormes fazendas.

No resto da Europa, a estrutura agrária era socialmente semelhante, ou seja, para um trabalhador ou camponês, qualquer pessoal que possuísse uma propriedade era um “cavaleiro” e membro da classe dominante. Da mesma forma, não era possível adquirir o título de nobre sem uma propriedade.

Entretanto, economicamente, a sociedade rural ocidental era bem diferente. O camponês tinha perdido muito de sua condição de servo. Ele pagava ao senhor das terras (em forma de aluguel ou fração das safras) para poder cultivá-la. Somente algumas áreas levaram o desenvolvimento agrário adiante, como a Inglaterra. Nestes lugares o que se via era uma classe de empresários agrícolas, os fazendeiros, e os trabalhadores rurais.



Os mercadores

Havia algumas exceções, principalmente na Inglaterra industrial. Porém, o industrial típico era um pobre gerente e não um capitão da indústria.

O estado mais bem sucedido da Europa no século XVIII, a Grã-Bretanha, devia plenamente seu poderio ao progresso econômico e todos os governos continentais com qualquer pretensão a uma política racional estavam fomentando o crescimento econômico e, especialmente, o desenvolvimento industrial.



O progresso econômico Inglês

Com exceção de algumas poucas regiões, a produção agrícola não acompanhava o aumento da população. Dessa forma, a atividade de comércio cresceu muito nesse período e os mercadores tornaram-se os verdadeiros campeões econômicos da época, já que, embora as atividades de mineração e fabricação estivessem se expandindo rapidamente em todas as partes da Europa, o mercador continuava a deter o seu controle.



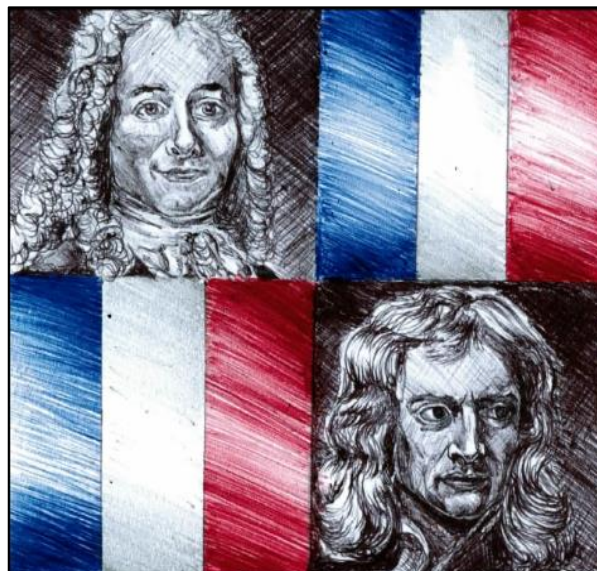
O progresso das cidades



A ciência e a indústria

O "iluminismo", a convicção no progresso do conhecimento humano, na racionalidade, na riqueza e no controle sobre a natureza - de que estava profundamente imbuído o século XVIII - derivou sua força primordialmente do evidente progresso da produção, do comércio e da racionalidade econômica e científica que se acreditava estar associada a ambos.

As Ciências, ainda não divididas pelo academicismo do século XIX em uma ciência "pura" superior e uma outra "aplicada" inferior, dedicavam-se a solução de problemas produtivos. Inicialmente, os maiores avanços foram na área da Química, que estava intimamente ligada às atividades de laboratório e às necessidades da indústria.



O Iluminismo: Newton e Lavoisier

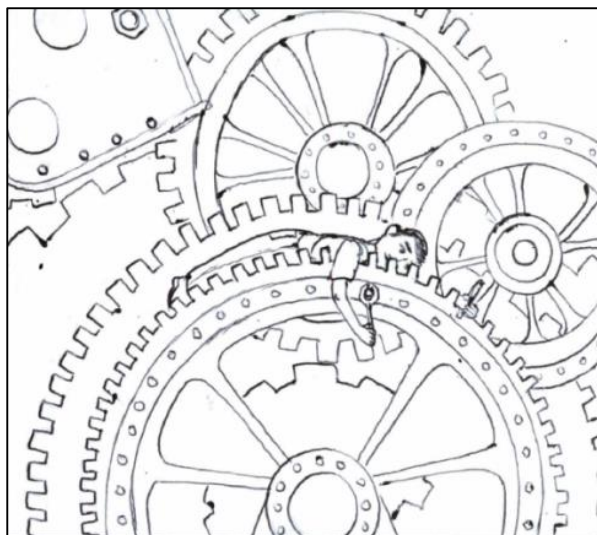
A apaixonada crença no progresso que professava o típico pensador do iluminismo refletia os aumentos visíveis no conhecimento e na técnica, na riqueza, no bem-estar e na civilização que podia ver em toda a sua volta e que, com certa justiça, atribuía ao avanço crescente de suas ideias. No começo do século, as bruxas ainda eram queimadas; no final, os governos do iluminismo, como o austríaco, já tinham abolido não só a tortura judicial mas também a escravidão.



O poder da Igreja

Com exceção da Grã-Bretanha, que fizera sua revolução no século XVII, e alguns Estados menores, as monarquias absolutas reinavam em todos os Estados em funcionamento no continente europeu. Os monarcas hereditários pela graça de Deus comandavam hierarquias de nobres proprietários, apoiados pela organização tradicional e a ortodoxia das igrejas e envolvidos por uma crescente desordem das instituições que nada tinham a recomendá-las exceto um longo passado.

Porém, o sucesso internacional do poderio capitalista britânico levou a maioria destes monarcas (ou seus conselheiros) a tentar programas de modernização intelectual, administrativa, social e econômica. Como nos dias atuais, muitos dos que adotaram estes programas estavam mais interessados nos métodos mais modernos de multiplicação de suas riquezas e poder do que com as ideias do iluminismo.



As novas relações de trabalho

3. A Revolução Industrial

Em um período relativamente pequeno, aproximadamente entre 1760 e 1830, a sociedade e a economia (inicialmente na Inglaterra) sofreram uma grande mudança. Pela primeira vez na história da humanidade os processos de produção de bens e mercadorias se tornou imensamente grande, ao ponto de produzirem lucros consideravelmente altos, à custa de baixos custos de produção e da exploração de mercados consumidores externos. Este deve ter sido o mais importante acontecimento desde a invenção da agricultura e das cidades.



Inglaterra

Na verdade, este período parece ser o ápice de um processo que se iniciou muito antes e não aconteceu na Inglaterra por acaso. De todas as nações onde poderia ter acontecido, a inglesa era a que oferecia maiores condições.

Porém, ela não se deu em razão de seu desenvolvimento científico e tecnológico, nem em razão de seu sistema educacional (ambos inferiores quando comparados a outras nações europeias, como a França). Isso porque não foram necessárias grandes inovações tecnológicas que estivessem além das capacidades dos artesãos, carpinteiros ou serralheiros da época. Até mesmo a máquina rotativa a vapor de James Watt – a máquina mais sofisticada da época – ainda utilizava conceitos físicos de um século atrás.

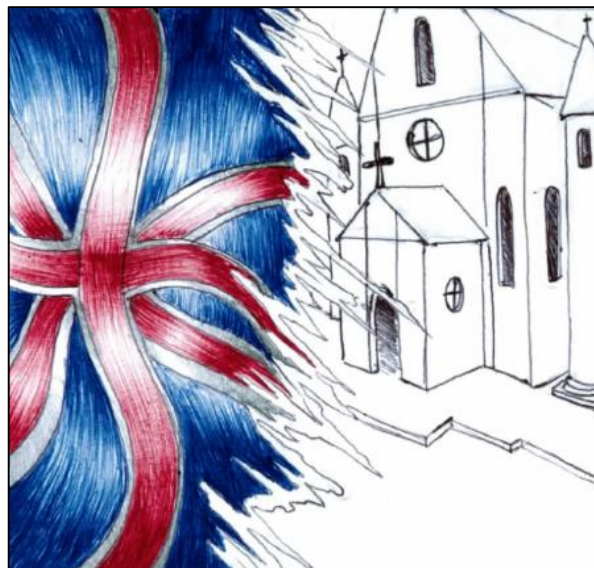
Isto não significa que os primeiros industriais não estivessem constantemente interessados na ciência e em busca de seus benefícios práticos, o que acabou estimulando o desenvolvimento da ciência em geral e, especialmente, a que estava diretamente relacionada com a indústria.

3.1. Por que na Inglaterra?

A reforma protestante quebrou os elos que uniam a Inglaterra com a Igreja Católica e foi fundamental para contribuir no processo de acumulação de riquezas, necessária para dar o impulso inicial na indústria Inglesa.



Êxodo rural



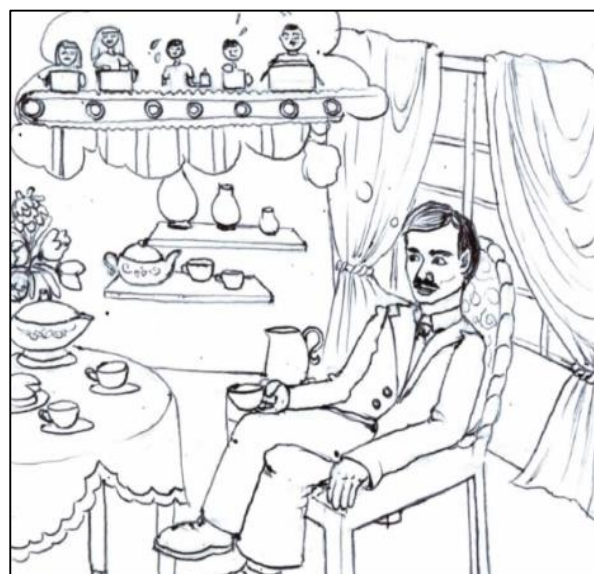
Igreja e Inglaterra: o elo quebrado

No início do século XVIII as atividades agrícolas já estavam predominantemente dirigidas para o mercado e serviram como um mecanismo de acúmulo de capital. No modo de produção feudal a terra era um bem comum e podia ser usada pelos camponeses. Através de um processo que os livros denominam de cercamento (do inglês “enclosures”) os senhores feudais cercaram suas terras e começaram a arrendá-las.

Dessa forma, a terra passou a ser vista como um bem de produção. Isso contribuiu significativamente para que a população rural migrasse para as cidades em busca de trabalhos nas manufaturas, disponibilizando uma grande quantidade de mão-de-obra barata.

Com o desenvolvimento da agricultura, passou-se a produzir mais do que o necessário para o consumo local de acordo com as necessidades impostas pelo modelo de sociedade capitalista em formação. Os mercadores emergiram como grandes acumuladores de capital e foram os principais responsáveis pelos investimentos em indústrias.

Desde o século XVII, os mercadores foram construindo seu capital, através da compra de produtos por um valor mais baixo e sua respectiva venda por um valor bem mais alto e se consolidaram como grandes financiadores da revolução industrial.



O surgimento da burguesia

Assim, a sociedade inglesa viu emergir uma classe burguesa extremamente rica e uma classe trabalhadora extremamente pobre – o proletariado.

Um considerável volume de capital social elevado - o caro equipamento geral necessário para toda a economia progredir suavemente - já estava sendo criado, principalmente na construção de uma frota mercante e de facilidades portuárias e na melhoria das estradas e vias navegáveis. A política já estava engatada ao lucro e tudo que os industriais precisavam para serem aceitos entre os governantes da sociedade era bastante dinheiro.

A maior parte da expansão industrial do século XVIII não levou de fato e imediatamente, ou dentro de um futuro previsível, a uma revolução industrial, isto é, à criação de um "sistema fabril" mecanizado que por sua vez produz em quantidades tão grandes e a um custo tão rapidamente decrescente a ponto de não mais depender da demanda existente, mas de criar o seu próprio mercado.

3.2. O surgimento da Indústria

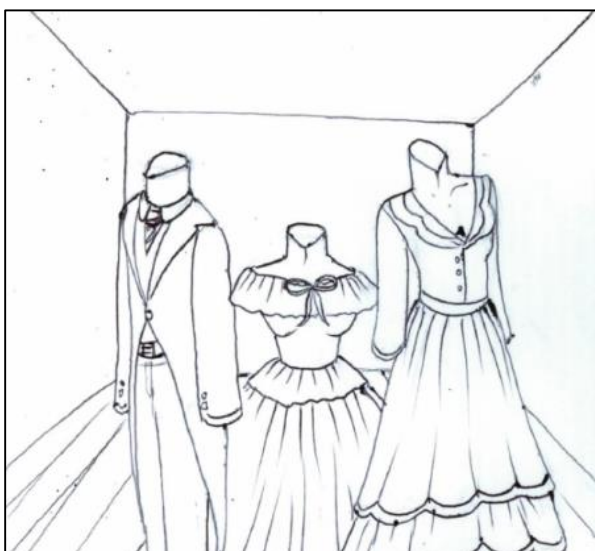
No final do século XVII os artesãos ingleses usavam a lã como matéria prima para a fabricação de tecidos e roupas.



A era do algodão

Porém, no início do século XVIII, navios ingleses vindos do Oriente introduziram os tecidos feitos de algodão e que tiveram sucesso imediato.

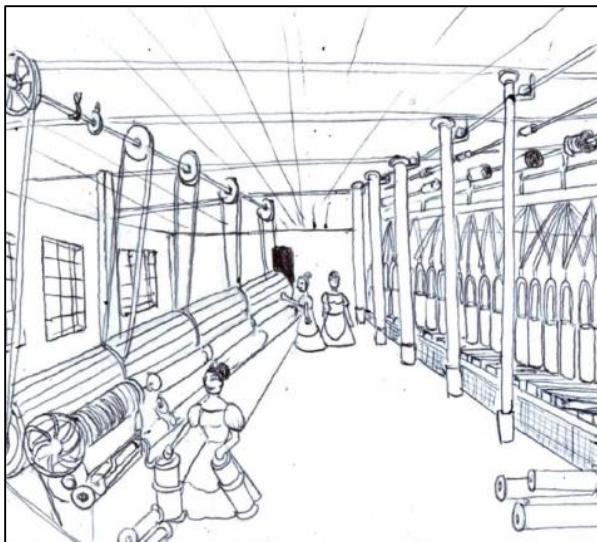
Os fabricantes locais tentaram criar indústrias de imitação e, a partir daí, o algodão começou a entrar no país como matéria prima bruta. O problema era que os produtos ingleses eram muito mais caros do que os trazidos do Oriente, já que a produção nessa época era feita, basicamente, por artesãos em suas próprias casas.



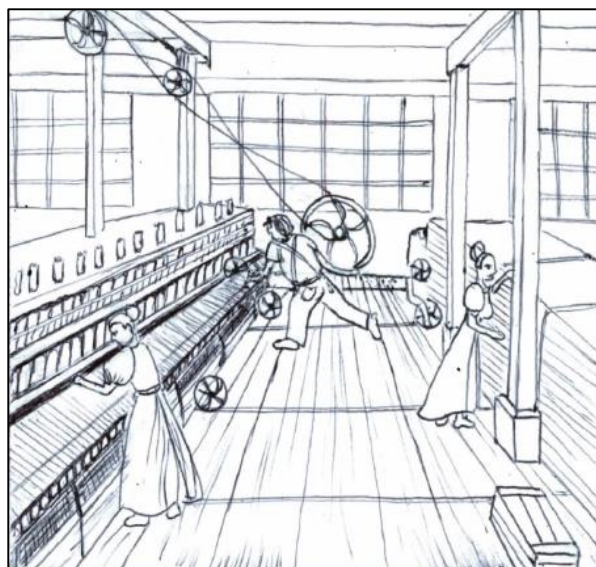
O sucesso dos tecidos

Além disso, os operários chineses tinham um nível de vida muito mais baixo e séculos de experiência. Criou-se assim uma necessidade: aumentar a produtividade e diminuir os custos, visando um lucro cada vez maior.

Nasciam, assim, as grandes fábricas têxteis, que concentravam a produção e transformavam artesãos criativos e liberais em operários dependentes, mecanizados e mal pagos. Nessa época começaram a surgir mudanças na técnica de fabricação, como a divisão do trabalho e a fabricação em série.



O trabalho nas fábricas



O tear e as fábricas de tecido

Para aumentar a produção, as fábricas começaram a usar a força da água para girar grandes rodas d'água que, por sua vez, serviam como força motora dos teares, cada vez maiores.

Por essa razão, as primeiras fábricas foram sendo construídas próximas a rios e terrenos acidentados e as cidades foram acompanhando esse desenvolvimento.

Mas as rodas d'água eram muito lentas e a produção era baixa. Com o desenvolvimento da máquina rotativa de Watt, por volta de 1770, os processos de produção tiveram uma evolução muito significativa (provavelmente a mais importante revolução nos processos de produção, desde o início da agricultura, o uso do da roda e do fogo) e a produção aumentou bruscamente.



As cidades próximas aos rios

4. O desenvolvimento da Máquina Térmica

Desde a idade média já se fabricavam materiais feitos de ferro, ouro, prata e outros materiais através de processos de usinagem que necessitavam de altas temperaturas. No início usava-se a lenha, mas logo foi necessário substituí-la, pois as florestas estavam sendo completamente devastadas e logo não haveria mais lenha.

Passou-se, então, a usar carvão mineral que era encontrado, inicialmente, em minas a céu aberto. Porém, com tempo, tornou-se necessário abrir caminho terra abaixo e logo surgiu um grande problema: constantemente as minas ficam inundadas.



Uso de lenha e carvão

4.1. A Máquina de Newcomen

Foi então que, por volta de 1710, começou-se a utilizar uma máquina aperfeiçoada pelo inglês Thomas Newcomen (1663 – 1729) que funcionava a vapor e conseguia retirar água das partes mais profundas das minas.



A máquina a vapor de Newcomen

1. Vapor a altas temperaturas é produzido no aquecedor e conduzido até o cilindro **A**;
2. A presença do vapor eleva a pressão dentro do cilindro, elevando o pistão **B** e permitindo que a haste **C** desça até a parte alagada da mina;
3. A válvula **D** é aberta para permitir um jato de água sobre o cilindro, capaz de condensar o vapor ali dentro, diminuindo a temperatura e a pressão dentro do cilindro, permitindo que o pistão desça, levantando a haste;
4. Com a subida da haste, a pressão dentro do cano onde ela estava diminui. Assim, esse espaço é preenchido pela água, que estava à uma pressão maior, dentro da mina, e escoar para fora da mesma.
5. Em seguida o procedimento é repetido.

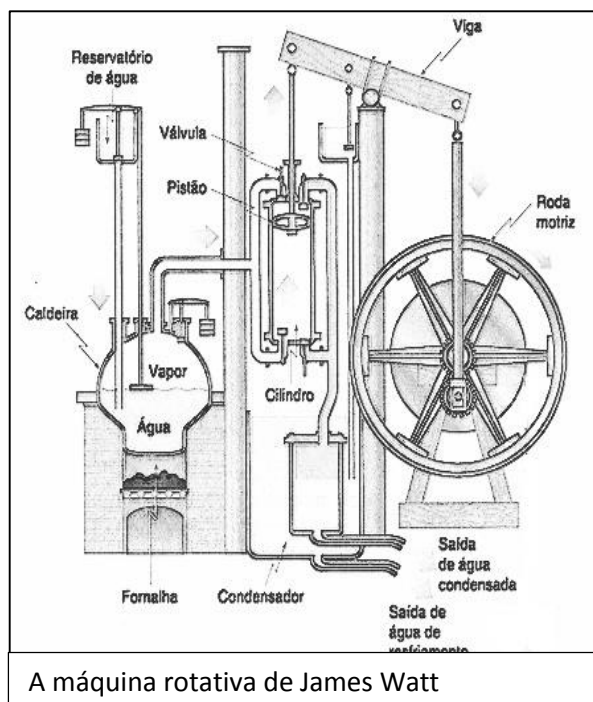
Essa máquina baseava-se em uma observação feita pelo físico francês Denis Papin em 1679: quando água é aquecida dentro de um recipiente fechado, uma enorme pressão é formada, podendo erguer a tampa da panela.

O maior problema das máquinas de Newcomen era o consumo. Siga o raciocínio: A energia gerada pela queima do combustível é usada para aquecer a água e, conseqüentemente, o cilindro. Como o cilindro é resfriado a todo momento, poderia haver uma economia muito grande de combustível caso a condensação ocorresse em outro recipiente.

4.2. A Máquina de Watt

Por volta de 1770, o mecânico e inventor escocês, James Watt conseguiu aperfeiçoar a máquina térmica de Newcomen e torná-la cerca de 75% mais econômica. Foi ele, também, que modificou a máquina para aproveitar o movimento de subida e descida do pistão para girar uma roda.

Esta máquina a vapor foi denominada máquina rotativa e teve uma aceitação imediata e foi usada principalmente nas fábricas têxteis que antes eram giradas por rodas d'água. Foi estimado que até 1800 foram construídas cerca de 300 dessas máquinas.



A máquina rotativa de James Watt

Vale ressaltar que até esse período, praticamente todos os avanços tecnológicos eram obtidos através de métodos empíricos, ou seja, através de tentativas e erros, o que era determinante para que os avanços tecnológicos fossem muito lentos.

Era necessário, portanto, um desenvolvimento teórico capaz de subsidiar avanços significativos em equipamentos tecnológicos que pudessem ser usados para aumentar a produção das fábricas. Por essa razão, a Termodinâmica foi área da física que experimentou avanços mais significativos durante esta época e já estava praticamente estruturada até o final do século XIX.

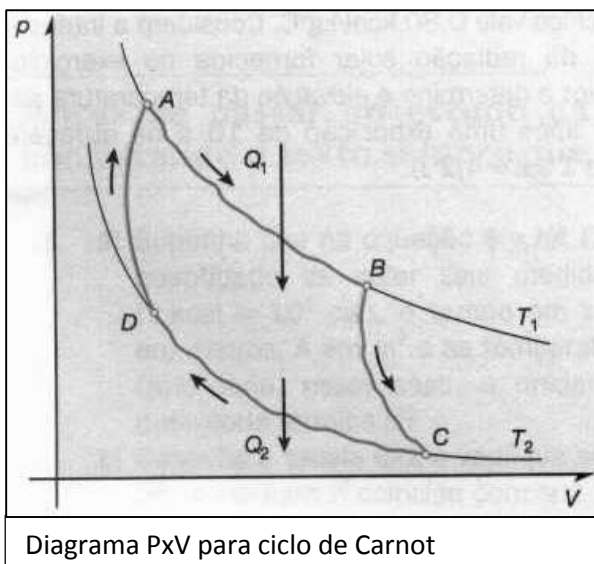
4.3. A Máquina de Carnot

Até o final do século XVIII o desenvolvimento da máquina térmica foi prático, ou seja, baseado em tentativas. No início do século XIX, um jovem engenheiro francês chamado Nicolas Leonard Sadi Carnot se interessou pelas máquinas térmicas e começou a investigar teoricamente formas de melhorar seu rendimento e encontrar um limite para tal.



Sadi Carnot

Em seus estudos, Carnot observou que sempre que o calor flui espontaneamente de um corpo para outro, há perda de rendimento. Assim, ele concluiu que o rendimento de uma máquina térmica será tanto maior quanto se consiga evitar o contato entre a fonte quente (que fornece calor ao gás) e a fonte fria (que resfria o gás).



Buscando construir um motor perfeito, onde não existisse contato direto entre as fontes quentes e as fontes frias, Carnot imaginou uma máquina onde o gás pudesse ser aquecido e resfriado (por compressão e dilatação) antes de entrar em contato com a fonte quente e a fonte fria, como mostrado no diagrama ao lado.

Para exemplificar como funcionaria, imagine um gás preso dentro de um cilindro fechado com um êmbolo que pode ser mover livremente, sem atrito. Este recipiente está em contato, ao mesmo tempo, com duas fontes, uma fonte quente e outra fria.

Agora, acompanhe o processo:

- Transformação AB: o gás, estando a uma temperatura inicial recebe calor de uma fonte quente (uma fornalha, por exemplo) e expande livremente, desprezando-se qualquer atrito entre o êmbolo e o cilindro. Nesta transformação, o gás não tem sua temperatura elevada, pois o calor recebido é usado para produzir trabalho;
- Transformação BC: isolando termicamente o gás do ambiente (e parando de fornecer calor) o gás continua a se expandir, sem trocar calor com o ambiente. Assim, sua temperatura diminuirá até que o gás pare de expandir (devemos lembrar que a temperatura de um gás é inversamente proporcional ao seu volume);
- Transformação CD: retirando o isolamento térmico do gás, ele libera calor para o ambiente e o êmbolo desce, sem que a temperatura do gás se altere. Neste caso, o trabalho realizado pelo êmbolo sobre o gás faz com que calor seja liberado para uma fonte fria (a atmosfera, por exemplo);
- Transformação DA: voltando a isolar termicamente o sistema, o gás continuará a ser comprimido, fazendo com que sua temperatura volte ao valor inicial (o mesmo da fonte quente).

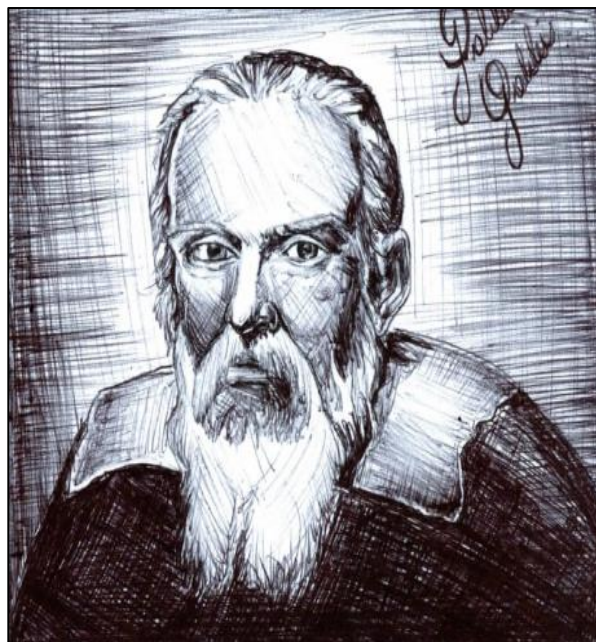
Entretanto, a máquina de Carnot é uma máquina que não pode ser construída, pois não é possível eliminar totalmente o atrito entre o êmbolo e o cilindro. Porém, a máquina de calor representa um limite máximo de rendimento que pode ser alcançado por uma máquina que usa uma fonte quente à determinada temperatura. Ou seja, se uma máquina opera recebendo calor de uma fonte quente à temperatura T_1 e rejeitando calor à uma fonte com temperatura T_2 , usando um ciclo qualquer, ela não poderá ter rendimento maior do que o calculado para uma máquina que opere usando o ciclo de Carnot.

Carnot teorizou que nenhuma máquina poderia ter rendimento igual à 100%. Mais tarde outros cientistas teorizaram que uma máquina teria rendimento de 100% caso utilizasse uma fonte fria com temperatura de -273°C . Porém, esta temperatura não pode ser alcançada, pois representaria um estado em que todas as moléculas do gás estivessem em repouso.

5. A evolução do conceito de Temperatura

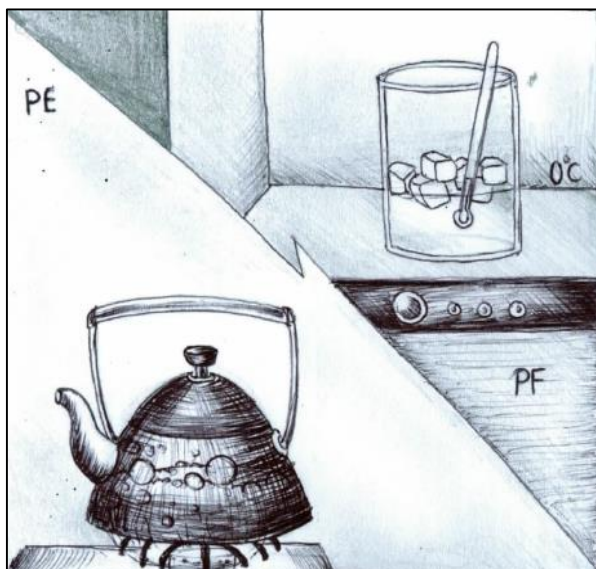
O conceito de temperatura como conhecemos hoje (resultado do movimento de partículas de um corpo) só foi concebido em meados do século XX. Até o final do século XVI existia, apenas, o conceito de quente e frio. A partir daí, e durante muito tempo, vários cientistas se dedicaram a quantificar essas sensações, sem se preocupar em definir o que realmente é a temperatura.

Galileu foi um dos primeiros a realizar experiências que pudessem quantificar essas sensações usando o princípio de o ar se expandir ao ser aquecido. Esse princípio havia sido descoberto por volta de 100 a.C. mas nunca havia sido aplicado.



Galileu Galilei

Com o desenvolvimento da técnica de soprar vidro, começou-se um processo de aperfeiçoamento dos termômetros e Ferdinando II, o Grão Duque da Toscana, por volta de 1640 construiu um termômetro, baseado em álcool dentro de um tubo de vidro selado. A partir daí, foram várias as tentativas de padronizar os valores que eram marcados em cada termômetro e, assim, foram surgindo várias escalas termométricas.

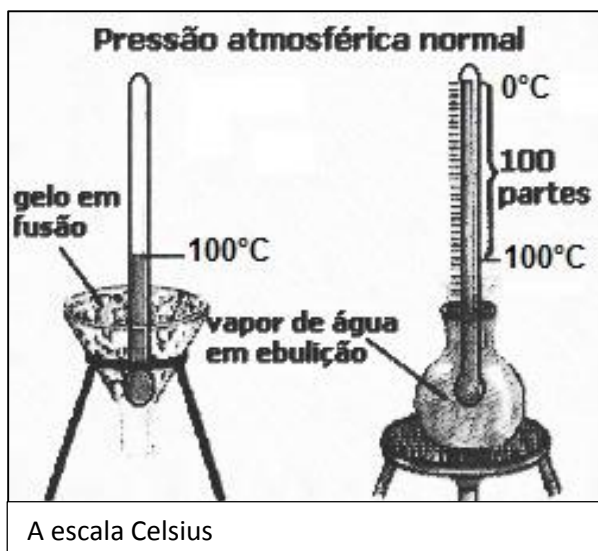


Pontos de fusão e ebulição da água

Foi Newton quem primeiro sugeriu a utilização de dois pontos de referência. Porém, naquela época não existia razão para acreditar que a água tivesse propriedades especiais que pudessem ser reproduzidas e, mesmo se tivesse, não se encontrava gelo durante o ano inteiro. Assim, no início usou-se pontos subjetivos como “a temperatura do corpo humano”, “o frio do inverno mais severo” ou “o ponto do derretimento da manteiga”. Somente no final do século XVII os pontos de fusão e ebulição da água começaram a ser difundidos. Dessa forma, várias escalas foram surgindo, adotando pontos de referência totalmente arbitrários. No início do século XVIII existiam mais de 35 escalas.

O astrônomo dinamarquês Olaf Romer, acostumando a fazer medições utilizando o sistema sexagesimal (baseado em 60 unidades) atribuiu os valores de 0° e 60° aos pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente. Como estava preocupado em realizar medidas da temperatura da atmosfera, posteriormente ele resolveu atribuir o valor da menor temperatura medida em sua cidade como sendo o 0° . Assim, a temperatura de fusão da água passou para $7,5^\circ$ e o de ebulição para $52,5^\circ$. Tentando tornar os cálculos mais fáceis, atribuiu o valor de 8° para a temperatura de fusão da água e 53° para a temperatura de ebulição.

Após passar uma temporada de estudos com Romer, o físico alemão Daniel Gabriel Fahrenheit aprendeu muito sobre a construção de termômetros e aprimorou o termômetro de Romer, realizando medidas quatro vezes mais precisas. Assim, para tornar os valores medidos em números inteiros, multiplicou por quatro os valores dos pontos de fusão e ebulição da água, dividindo o intervalo entre eles em 180 partes. Até hoje essa escala é muito utilizada em países de língua inglesa, adotando os valores de 32°F e de 212°F para os pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente.



A escala mais conhecida atualmente em nosso país (e também a mais usada no mundo), a Celsius (°C), foi concebida por volta de 1740 pelo astrônomo sueco Anders Celsius que, visando construir uma escala centesimal (baseada em 100 unidades) deu os valores de 100°C e 0°C aos pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente, e dividiu o intervalo em 100 partes. Posteriormente, devido às sugestões dos construtores dos termômetros, ele inverteu esses valores.

A escala mais utilizada em trabalhos científicos, é a escala Kelvin. Esta escala também é chamada de escala absoluta pois o valor expressado nesta escala está diretamente ligado ao movimento das moléculas do corpo (ou gás) do qual se pretende medir a temperatura. Ela foi criada por Willian Thomson (também conhecido como Lorde Kelvin) após estudar o comportamento dos gases. Nesta escala, o valor 0k, correspondente ao estado em que as moléculas do corpo estariam em total repouso, e equivale aproximadamente -273°C. Assim, a temperatura de fusão da água corresponde à 273k e a temperatura de ebulição corresponde à 373k.

Assim, podemos estabelecer relações entre todas as escalas, de modo à poder comparar os valores medidos em cada uma delas.

6. A evolução do conceito de Calor

Até mesmo para estudantes do ensino superior o conceito de calor não é bem entendido. Essa definição passa por teorias bem antigas e evoluções que, posteriormente, foram admitidas como erradas. Porém, é interessante notar que para o estágio em que as Ciências se encontravam naquele momento, essas teorias são completamente plausíveis.

6.1. O Flogístico

As primeiras ideias que se notícia sobre o conceito de calor são da Grécia Antiga. Para Empédocles, o fogo era considerado um dos quatro elementos básicos da matéria e Aristóteles via no calor e no frio duas qualidades elementares da matéria, opostas e simétricas. Para ele o fogo era originado por um movimento de partículas extremamente pequenas e o calor era visto como uma propriedade de um corpo ser quente ao toque.

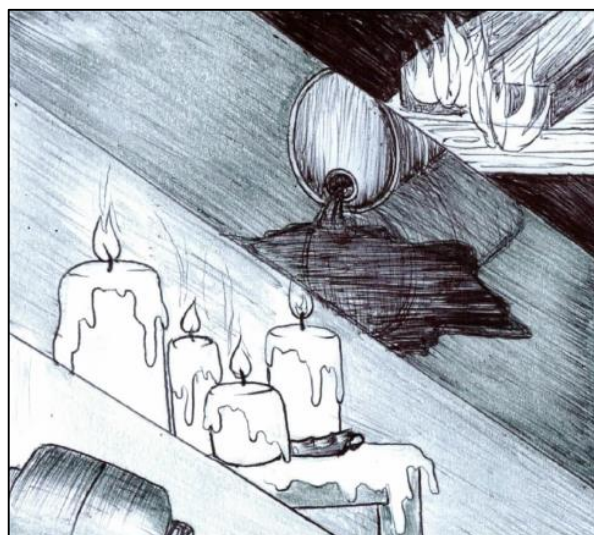
Até hoje essa ideia faz parte do senso comum e é, inclusive, corroborada por vários dicionários. O dicionário Aurélio (online) traz o significado de CALOR, entre outras coisas, como:

- Qualidade daquilo que é quente; temperatura elevada, tempo quente; os grandes calores do verão...

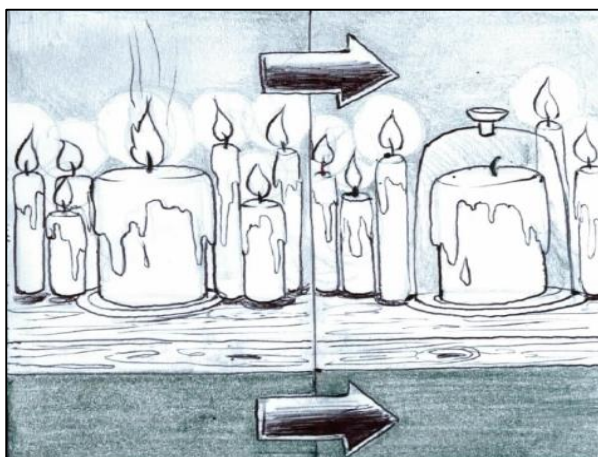
Pouco antes de 1700, George Ernst Stahl (químico e médico alemão) baseou-se nas ideias do alquimista alemão Johann Becher para fundamentar sua teoria do Flogístico. Para ele, todos os materiais combustíveis continham uma certa quantidade de uma substância chamada flogístico. Assim, quando um corpo queima, ele libera flogístico e fica reduzido a ingredientes mais elementares. Assim, substâncias que queimavam bem eram tinha flogístico em grande quantidade, ao passo que substâncias que não queimavam não possuíam esse elemento.



Sensações térmicas: o quente e o frio



Características do flogístico



O fenômeno da vela que se apaga

O flogístico tinha a propriedade de ser absorvido pelo ar e tinha “afinidade” com os sólidos, sendo mais fácil se combinar com estes do que com fluidos. Assim, estava explicado o fato uma vela parar de queimar dentro de um recipiente fechado: o ar ficava saturado de flogístico e quando não conseguia mais absorvê-lo (como uma esponja) a combustão terminava.

6.2. O Calórico

A ideia do Flogístico perdurou até 1760, quando um químico britânico chamado Joseph Black postulou novas ideias que seriam a base da teoria do calórico. Segundo ele todos os corpos continham o calórico, um fluido indestrutível e imponderável, cujas partículas constituintes eram auto repulsivas, mas atraídas pelos constituintes de outras substâncias.

Essas ideias serviram para explicar diversos fenômenos físicos observados na época:

- Quando dois corpos são colocados em contato térmico, o calórico flui do corpo quente para o corpo frio;
- Quando em contato com o fogo, o corpo recebe mais calórico e este, por ser auto repulsivo, faz com que as dimensões do corpo aumentem.
- Os diferentes calores específicos das substâncias se deviam ao fato dele ser atraído de modo desigual pelas diferentes espécies da matéria.
- No estado sólido, uma substância continha o calórico em pequena porcentagem. Nos líquidos ela aumentava e se tornava maior ainda nos gases.

Para ter ideia da importância dessa teoria, Lavoisier chegou a incluir em sua tabela periódica o elemento químico chamado “calórico”. Porém, o maior problema era que, segundo essa teoria, o calor deveria ser conservado.

Com o advento da revolução industrial, a Termodinâmica passou a chamar atenção de vários setores da Física e vários fatores levaram à por abaixo a teoria do calórico.

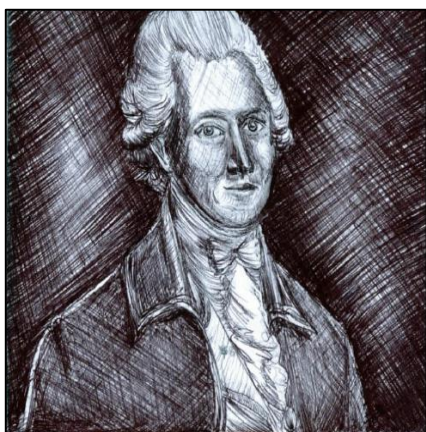


Instrumentos de laboratório



Lavoisier

6.3. Calor como uma forma de Energia



Benjamin Thompson

Pouco antes de 1800, Benjamin Thompson, o Conde de Rumford, fez algumas observações enquanto supervisionava a perfuração de canhões em uma fábrica.

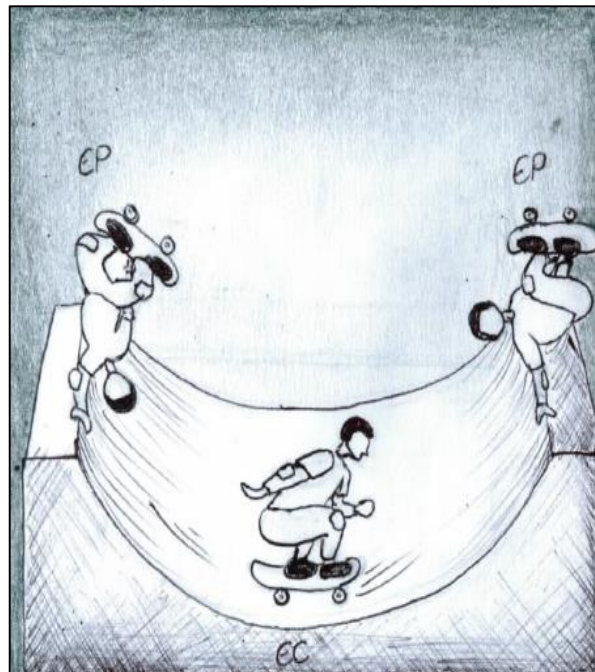
Ele percebeu que a água que era utilizada para resfriar os canhões durante o processo de perfuração chegava a temperaturas acima do ponto de ebulição. Além disso, o processo de aquecimento da água continuava enquanto houvesse atrito entre as peças e não havia qualquer alteração de peso nos corpos.

Assim, ele concluiu que uma coisa que pudesse ser fornecida infinitamente a um sistema não poderia ser uma substância (lembre-se que o calórico era considerado um fluido).

Em 1812, Humphrey Davy (físico e químico britânico) publicou um artigo onde concluiu que “a causa imediata dos fenômenos caloríficos é o movimento”. Lavoisier e Laplace também expressaram uma certa desconfiança quanto à teoria do calórico, mas não obtiveram métodos suficientes para derrubá-la definitivamente.

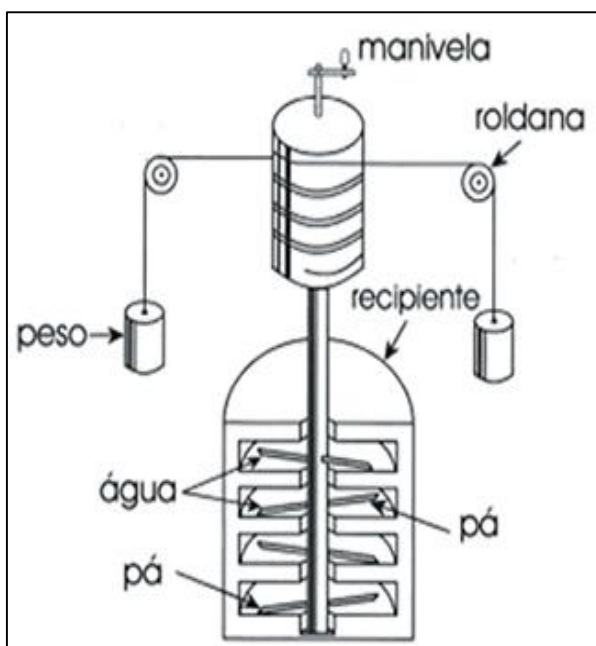
Por volta de 1840, o médico alemão Julius Robert Von Mayer, baseou-se em observações médicas e sugeriu que a combustão no corpo humano é responsável por produzir calor e trabalho. Além disso, o movimento do corpo também gera calor, que se mistura ao calor gerado pela combustão. Assim, concluiu que os processos químicos no corpo humano produziam movimento, trabalho e calor que podiam ser convertidos uns nos outros.

Então, sugeriu que uma coisa, que hora se manifestava como calor, ora como movimento, se conservava. Ele chamou essa coisa de força e identificou outras forças presentes na natureza, como a força de queda, de movimento, calor, magnetismo, eletricidade e a força solar.



Energia potencial e energia cinética

Porém, como seu trabalho foi baseado em observações médicas, não teve credibilidade e foi ignorado por quase 20 anos. Esse fato levou-o a tentativa de suicídio, quando tinha pouco mais de 30 anos.



O experimento de Joule

Em 1845, o britânico James Prescott Joule propôs um aparato para medir a relação entre o trabalho e o calor. A experiência consistia em colocar, dentro de um recipiente com água, um conjunto de hélices, ligadas, através de roldanas, a dois pesos que caíam sob a ação da gravidade e faziam aumentar a temperatura da água no recipiente devido ao movimento das hélices.

Ele chegou à conclusão de que 1 cal (unidade de medida usada em medições de quantidade de calor) era igual a 4,154 J (unidade de medida usada em energia mecânica). Este valor tem um desvio de apenas 1% em relação ao valor atualmente aceito. Assim, ele concluiu que a energia potencial podia ser convertida em energia cinética e esta podia transformar-se em calor.



Clausius

Couberam aos físicos alemães Hermann Ludwig Von Helmholtz e Rudolf Julius Emanuel Clausius o enterro definitivo da teoria do calórico. Com um tratamento teórico e matemático preciso e minucioso, eles teorizaram que se calor e energia mecânica podem produzir trabalho, então são dois tipos de um mesmo fenômeno, designado energia.

Este conceito ficou conhecido por Princípio da Conservação da Energia: a energia total de um sistema isolado permanece constante quaisquer que sejam as transformações sofridas por ele. Este princípio também é conhecido como “**1º Lei da Termodinâmica**” e pode ser expresso assim:

$$dQ = dW + dU$$

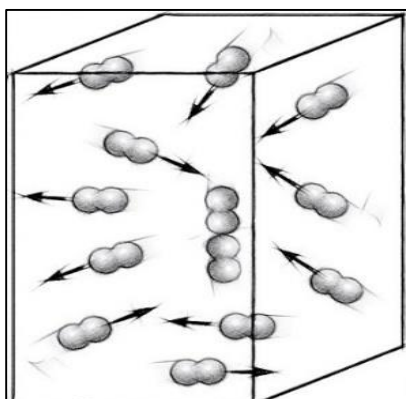
Onde dQ representa um acréscimo de quantidade de calor à um sistema, dW o trabalho resultante e dU a variação da energia interna do sistema.

Foi Clausius quem também idealizou o que hoje conhecemos como “**2º Lei da Termodinâmica**”. Analisando as ideias de Carnot ele concluiu que: “não existe qualquer sistema térmico perfeito que converta todo o calor em trabalho. Existe sempre uma determinada perda de energia para o ambiente”.

Um ano depois, William Thomson (conhecido como Lord Kelvin) também propôs uma formulação da 2ª Lei: “Nenhum processo é possível em que o único resultado seja a absorção de calor de um recipiente e a sua completa conversão em trabalho”.



Transformações entre tipos de energia



Teoria cinética dos gases

No século XX ganhou força a Teoria Cinética dos Gases e as definições de calor como uma forma de energia, como conhecemos hoje. Porém, devemos ter em mente que o processo que levou às conclusões atuais não foram simples, quanto menos triviais. Atualmente, podemos observar as diversas formas de energia e suas transformações em diversas situações do cotidiano e as tecnologias que se baseiam na termodinâmica compreendem desde painéis de pressão até grandes caldeiras industriais, passando por motores de automóveis e motocicletas, além de usinas responsáveis pela transformação de outros tipos de energia em energia elétrica.

7. Sugestão de leituras e vídeos

Livros:

- A evolução das ideias da Física – Antonio S. T. Pires. Editora Livraria da Física;
- A era das revoluções: 1789 – 1848 – Eric Hobsbawn. Editora Paz e Terra;
- História da riqueza do homem – Leo Huberman. Editora Zahar;
- A história da termodinâmica clássica: uma ciência fundamental – Antonio Braz de Pádua, Cléia Guiotti de Pádua e João Carlos Correia Silva. Editora Eduel;
- Física: volume 2 – Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Editora Scipione;
- Universo da Física: volume 2 – José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada. Editora Atual;
- Convexões com a Física: volume 2 – Blaidi Sant’Anna, Hugo Carneiro Reis, Glória Martini e Walter Spinelli. Editora Moderna.

Filmes:

- As consequências da revolução industrial – documentário da rede BBS;
- História da Ciência (The history of Science) – documentário da rede BBC;
- Lendas da Ciência: Queimar – as máquinas que mudaram a história – documentário da produtora Nickel Odeon exibido pela TV Escola;
- Germinal – de Claude Berri;
- Vidas marcadas – de Bill Douglas;
- Oliver Twist – de David Lean;
- Tempos modernos – de Charles Chaplin;
- Pelle, o conquistador – de Billie August;
- Os miseráveis – de Billie August (1998) e de Tom Hooper (2012).